

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Навчально-науковий інститут Електроенергетики
Електротехнічний факультет
Кафедра Електроенергетики

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
кваліфікаційної роботи ступеню бакалавра
студента Юревич Наталії Валеріївни
академічної групи 141-16-3
спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
на тему Розробка автономної фотоелектричної станції потужністю 15 кВт для потреб будівельного містечка

| Керівники | Прізвище, ініціали | Оцінка за шкалою | | Підпис |
|------------------------|-----------------------|------------------|---------------|--------|
| | | рейтинговою | інституційною | |
| кваліфікаційної роботи | Луценко І.М. | | | |
| розділів: | | | | |
| Технологічний розділ | Луценко І.М. | | | |
| Спеціальний розділ | Луценко І.М. | | | |
| Охорона праці | Столбченко О.В. | | | |
| Економічний розділ | Тимошенко Л.В. | | | |

| | | | | |
|------------------|---------------|--|--|--|
| Рецензент | Молдован М.В. | | | |
|------------------|---------------|--|--|--|

| | | | | |
|-----------------------|------------------|--|--|--|
| Нормоконтролер | Олішевський Г.С. | | | |
|-----------------------|------------------|--|--|--|

Дніпро
2020

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
Електроенергетики

_____ Рогоза М. В.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 20__ року

ЗАВДАННЯ на кваліфікаційну роботу ступеню бакалавра

студенту Юревич Н.В.

академічної групи 141-16-3

спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

за освітньо-професійною програмою Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

на тему Розробка автономної фотоелектричної станції потужністю 15 кВт для потреб будівельного містечка,

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від 12.05.2020 №258-С

| Розділ | Зміст | Термін виконання |
|------------------------|--|---------------------------|
| 1 Технологічний розділ | Провести аналіз технологічного процесу щодо будівництва електроенергетичних об'єктів, освітити сучасні підходи та варіанти щодо організації електрозабезпечення будівельного майданчика, оцінити потенціал використання децентралізованих систем електрозабезпечення на базі модульних гібридизованих станцій з ВДЕ. | 4.05.2020- 10.05.2020 |
| 2 Спеціальний розділ | Провести розрахунок для проектування пересувної сонячної електростанції для живлення будівельного містечка. | 11.05.2020- 31.05.2020 |
| 3 Охорона праці | Визначити небезпечні чинники на об'єкті, розробити заходи щодо уникнення травматизму через ці чинники. | 01.06.2020- 07.06.2020 |

| | | |
|----------------------|--|---------------------------|
| 4 Економічний розділ | Визначити економічні параметри проекту електропостачання будівельного містечка за допомогою пересувної автономної СЕС. | 08.06.2020- 14.06.2020 |
|----------------------|--|---------------------------|

Завдання видано

(підпис керівника)

Луценко І.М.

(прізвище, ініціали)

Дата видачі

Дата подання до екзаменаційної комісії

Прийнято до виконання

(підпис студента)

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 90 стор., 16 рис., 11 табл., 3 додатки., 22 джерела.

СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНЕ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, БУДІВНИЦТВО, СУЧАСНІСТЬ, ЕКОЛОГІЧНІСТЬ

Об'єкт дипломного проекту: автономна пересувна електростанція інверторною потужністю 15 кВт.

Мета дипломного проекту: розробити структуру та принципову реалізацію прототипу гібридної електрогенеруючої установки на базі відновлюваних джерел енергії для децентралізованого електропостачання будівельного містечка віддалених об'єктів.

У вступній частині наведена інформація про стан використання відновлюваних джерел енергії для генерування електроенергії в Україні та світі, запланований розвиток у цьому напрямку.

Основна частина показує аналіз технологічного процесу будівництва електроенергетичних об'єктів, описує сучасні підходи щодо організації електрозабезпечення будівельного майданчика. Там же виконані розрахунки для проектування пересувної сонячної електростанції з вибором обладнання та розробленням конструкцій, що відповідають поставленим до проекту вимогам.

Техніко-економічне обґрунтування проекту виконано шляхом розрахунків капітальних і експлуатаційних витрат на реалізацію проекту, а також термін окупності проектного рішення.

Щодо охорони праці, були вказані чинники, які можуть призвести до травматизму працівників на об'єкті та представлені відповідні запобіжні міри.

Розроблене технічне рішення являє собою мобільну автономну СЕС з підібраним обладнанням для максимальної ефективності її роботи.

Зміст

| | |
|---|----|
| Вступ..... | 7 |
| 1. ВСТУПНА ЧАСТИНА..... | 11 |
| 1.1. Аналіз технологічного процесу щодо будівництва електроенергетичних об'єктів: перелік та порядок виконання робіт, необхідний склад технологічного обладнання для забезпечення його електричною енергією..... | 12 |
| 1.2. Сучасні підходи та варіанти щодо організації електрозабезпечення будівельного майданчика: централізована лінія, децентралізовані дизель-генератори з виходом на гібридні системи з ВДЕ. Переваги та недоліки існуючих підходів..... | 15 |
| 1.3. Оцінка потенціалу використання децентралізованих систем електрозабезпечення на базі мобільних модульних гібридизованих станцій з ВДЕ: прогностичний економічний, екологічний ефекти від застосування рішень, проблематика створення систем, основні вимоги до подібних установок, недоліки залежності від погодних умов..... | 18 |
| 1.4. Аналіз принципів роботи, структури та складу обладнання існуючих стаціонарних автономних та гібридних станцій: проаналізувати ФЕС з накопиченням, ВЕС з накопиченням, системи з можливістю додавання додаткового джерела, наприклад ДЕС..... | 20 |
| 1.4.1. Автономна ФЕС з накопиченням..... | 20 |
| 1.4.2. Гібридна ФЕС з накопиченням..... | 21 |
| 1.4.3. Автономна ВЕС за накопиченням..... | 23 |

| | |
|---|----|
| 1.4.4. Гібридна ВЕС з накопиченням..... | 24 |
| 1.5. Висновки та постановка задач щодо розробки об'єкту децентралізовано електрозабезпечення для будівельного майданчика..... | 25 |
| 2. ОСНОВНА ЧАСТИНА..... | 27 |
| 2.1. Перелік та характеристика електрообладнання для потреб будівельного майданчика | 18 |
| 2.2. Опис технологічного процесу та графіка роботи будівельного майданчика..... | 29 |
| 2.3. Моделювання графіка електричних навантажень будівельного майданчика..... | 31 |
| 2.4. Вибір типу і параметрів фотоелектричних модулів (ФЕМ) до встановлення на ФЕС..... | 36 |
| 2.5. Розрахунок приведених експлуатаційних параметрів ФЕМ..... | 38 |
| 2.6. Вибір параметрів та характеристик інвертора для станції..... | 38 |
| 2.7. Розрахунок параметрів та схеми з'єднань стрінгів ФЕМ для підключення до інвертора..... | 39 |
| 2.7.1. Максимальний струм в ланцюгу..... | 39 |
| 2.7.2. Максимальна напруга в ланцюгу..... | 40 |
| 2.8. Визначення допустимої кількості модулів в ланцюгу з врахуванням MPP трекера інвертора | 42 |
| 2.9. Перевірка сумарної кількості сонячних модулів з врахуванням номінальної потужності інвертора..... | 43 |
| 2.10. Визначення конструктивних параметрів стола ФЕМ..... | 45 |
| 2.11. Вибір параметрів кабельних ліній мережі постійного струму..... | 46 |

| | |
|--|----|
| 2.12. Визначення втрат потужності в мережі постійного струму.... | 46 |
| 2.13. Вибір та обґрунтування структури та конструктивного виконання децентралізованого джерела..... | 47 |
| 2.14. Вибір параметрів додаткового резервного джерела енергії та накопичувачів..... | 47 |
| 2.15. Вибір параметрів кабельних ліній напругою 0,4 кВ..... | 48 |
| 2.16. Вибір захисної комутаційної апаратури..... | 50 |
| 2.17. Розрахунок продуктивності децентралізованого джерела | 51 |
| 2.18. Охорона праці на об'єкті..... | 54 |
| 2.18.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих чинників проєктованого технологічного процесу, об'єкту, системи або пристрою | 55 |
| 2.8.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці..... | 57 |
| 2.8.3 Пожежна профілактика..... | 61 |
| 2.19. Техніко-економічне обґрунтування..... | 63 |
| 2.19.1 Вступ | 64 |
| 2.19.2 Розрахунок витрат в проєкті пересувної автономної СЕС..... | 66 |
| 2.19.3 Розрахунок витрат на актуальний спосіб електропостачання будівельного містечка | 80 |
| 2.19.4. Висновки | 82 |
| Загальні висновки з проєкту..... | 83 |
| Перелік посилань..... | 84 |
| Додаток А..... | 87 |
| Додаток Б..... | 88 |
| Додаток В..... | 89 |

Вступ

Станом на березень 2020 року встановлена потужність ВДЕ в Україні становить:

- ТЕС – 4811 МВт;
- ГАЕС – 1488 МВт;
- СЕС – 4231 МВт;
- ВЕС – 1037 МВт;
- Станції на біопаливі – 152 МВт.

Нижче наведені діаграми та графіки, що характеризують частку ВДЕ в ОЕС України та їх розвиток з роками (рис. 1-4). [1]



Рисунок 1 - Встановлена потужність ОЕС України станом на березень 2020 р.





Рис. 3 Встановлена потужність відновлюваних джерел енергії за 2015 – 2020 рр.

Рисунок 3 - Встановлена потужність відновлюваних джерел енергії за 2015-2020 рр.



Рисунок 4 - Помісячна встановлена потужність відновлюваних джерел енергії за 2018-2020 рр.

В останні роки в Україні, після надання державної підтримки, генерація на ВДЕ набула достатньо стрімкого розвитку (рис.5). У 2019 році виробіток електричної енергії на ВДЕ в загальній структурі виробництва електричної енергії досягнув 3,6 %, або 5,5 млрд. кВт·год (для прикладу весь

експорт електричної енергії до країн Східної Європи з ОЕС України у 2019 році склав величину на рівні 5,8 млрд кВт·год).[2]

| Технологія ВДЕ | Приріст по відношенню до попереднього року ВДЕ 2013-2020 рр., МВт | | | | | | | |
|----------------|---|------|--------|--------|-------|-------|----------|--------|
| | роки | | | | | | | |
| | 2013 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019* | 2020** |
| ВЕС | 108,9 | 137 | -81,1 | -123,6 | 20,4 | 60,6 | 704,3 | 900 |
| СЕС | 245,6 | 18,6 | -222,9 | 98,9 | 300,4 | 466,4 | 2 666,92 | 2 100 |
| БіоЕС | 0 | 35,4 | 17 | 10,2 | 34,3 | 1,8 | 37,8 | 20 |

* — за оперативними даними 2019 року.

Рисунок 5 - Динаміка введення в експлуатацію об'єктів генерації на ВДЕ

Поряд з цим, в контексті задекларованих цілей сталого розвитку та політики енергетичного переходу від існуючої енергосистеми до енергосистеми побудованої на новітніх принципах та технологіях за відмови від використання викопного органічного палива, частка генерації, яка використовує ВДЕ, на рівні 2050 року повинна становити не менше 50 % у виробництві електричної енергії при реалізації сценаріїв, які передбачають підтримку атомної генерації на рівні не менш 14 ГВт, та подальший перехід до 70 % використання ВДЕ для вирішення 37 завдань електрозабезпечення власних споживачів при відмові від подальшого розвитку атомної енергетики в країні. [2]

На сьогодні існує завдання розробки, створення та встановлення систем акумулювання електроенергії на державному рівні. Це має стати одним з кроків до вирішення проблем маневрових можливостей енергосистеми.

Можна сказати, що тенденція розвитку вироблення електричної енергії з відновлюваних джерел енергії продовжує набирати обертів в умовах критичного зменшення, згідно прогнозів, запасів традиційних джерел енергії, загострення проблема забруднення оточуючого середовища та явних переваг такого способу генерації електроенергії. Надалі буде розглянуто, наскільки електростанції на ВДЕ застосовуються повсюдно та як за допомогою них

можуть зменшити свої капіталовкладення учасники інфраструктури будівельної галузі

У першому кварталі 2020 року глобальне використання відновлюваної енергії в усіх секторах збільшилося приблизно на 1,5% в порівнянні з першим кварталом 2019 року. Вироблення електроенергії з відновлюваних джерел збільшилося майже на 3%, головним чином через нові проєкти в області вітрової і сонячної енергетики, завершених у минулому році. Використання відновлюваних джерел енергії у вигляді біопалива скоротилося в першому кварталі 2020 року, так як споживання змішаного палива для автомобільного транспорту скоротилося.

За оцінками Міжнародного енергетичного співтовариства, загальне використання відновлюваної енергії в світі виросте приблизно на 1% в 2020 році. Очікується, що поширення використання сонячної, вітрової та гідроенергетики посприє зростанню вироблення відновлюваної електроенергії майже на 5% в 2020 році. Однак це зростання менше, ніж передбачалося до кризи Covid-19.

У першому кварталі 2020 року глобальне використання відновлюваної енергії було на 1,5% вище, ніж в першому кварталі 2019 року. Збільшення було обумовлено зростанням приблизно на 3% вироблення електроенергії з відновлюваних джерел завершеними в 2019 році проєктами на більш ніж 100 ГВт сонячної фотоелектричної енергії і близько 60 ГВт вітроенергетичних проєктів. Крім того, наявність вітру була високою в Європі і Сполучених Штатах в першому кварталі 2020 року. Поновлювані джерела енергії також стійкі до зниження попиту на електроенергію, тому що вони, як правило, використовуються перш інших джерел електроенергії через їх низькі експлуатаційних витрат або правила, які надають їм пріоритетності.

Частка відновлюваних джерел енергії в світовому виробництві електроенергії підскочила майже до 28% в першому кварталі 2020 року з 26% в першому кварталі 2019 року. Збільшення відновлюваних джерел енергії відбулося в основному за рахунок вугілля і газу, хоча ці два джерела, як і раніше становлять близько 60% світової електроенергії постачання. У першому кварталі 2020 року змінні відновлювані джерела енергії - у вигляді сонячної фотоелектричної енергії та енергії вітру - досягли 9% генерації, в порівнянні з 8% в першому кварталі 2019 року. [3]

1 ВСТУПНА ЧАСТИНА

**1.1 Аналіз технологічного процесу щодо будівництва
електроенергетичних об'єктів: перелік та порядок виконання робіт,
необхідний склад технологічного обладнання для забезпечення його
електричною енергією**

Під будівництвом електроенергетичних об'єктів можна розуміти нове будівництво, реконструкцію, капітальний ремонт або технічне переоснащення.

Виконанню робіт на об'єктах повинен передувати комплекс заходів і робіт з підготовки будівельного виробництва, що забезпечує можливість здійснення будівництва відповідно до умов підрядних контрактів й взаємопов'язану діяльність усіх його учасників. Підготовка будівельного виробництва включає загальну організаційно-технічну підготовку, підготовку до будівництва об'єкта, підготовку будівельної організації й підготовку до виробництва будівельно-монтажних робіт. Підготовка виробництва в об'ємі, необхідному для початку будівельно-монтажних робіт на об'єкті (пусковому комплексі) та розгортання їх з необхідною

інтенсивністю, має бути виконана до початку його будівництва. Будівництво об'єкту повинно здійснюватися на основі попередньо розроблених рішень з організації будівництва й технології виробництва робіт, які мають бути відображені в проектно-технологічній документації (ПТД). Ця документація є невід'ємною складовою частиною документації на будівництво поряд з проектно-кошторисною документацією та робочими кресленнями. До її складу входить проект організації будівництва (ПОБ) і проекти виробництва робіт (ПВР). Склад та зміст ПТД, необхідної для здійснення робіт на об'єкті, установлюються в контракті на його будівництво, в залежності від виду будівництва, складності об'єкту, форм взаємодії учасників будівництва і т.п. [4]

Перед початком будівництва керівний склад будівельної команди повинен ознайомитись з проектною документацією, де обов'язково вказується розташування будівельного містечка, схема його тимчасового електропостачання. В ході мобілізації організовують підготовку території певної площі під встановлення тимчасових споруд (модульних будівель) - зняття рослинного слою ґрунту, засипка щебнем. В залежності від кількості задіяних працівників, кількості необхідних інструментів та матеріалів визначається кількість модульних будівель, палаток та відкритих складів із огороженням

До початку виконання будівельно-монтажних (в тому числі, підготовчих) робіт на об'єкті Замовник повинен отримати дозвіл на виконання будівельно-монтажних робіт в органах державного архітектурно-будівельного контролю (ДАБК), передати підрядній організації будівельний майданчик і оформлені в установленому порядку документи, необхідні для її повноцінного використання. При реконструкції (технічному переоснащенні) Замовник передає також необхідний фронт робіт на об'єкті. [4]

До основних робіт з будівництва об'єкта або його частини дозволяється приступати тільки після відведення в натурі майданчика (траси) для його будівництва, улаштування необхідних огорожень будівельного майданчика (охоронних, захисних або сигнальних) та створення розбивочної геодезичної основи. До початку зведення будівель та споруджень необхідно провести зрізання рослинного слою ґрунту, складування його в спеціально відведених місцях для подальшого використання для рекультивації земель, вертикальне планування будівельного майданчику, улаштування під'їздів та інженерних мереж (каналізації, водо-, тепло-, енергопостачання та ін.), необхідних на час будівництва й передбачених проектами організації будівництва і проектами виробництва робіт, забезпечення будівництва зв'язком та засобами пожежогасіння. [4] На в'їзді на будівельний майданчик має бути встановлений паспорт об'єкту, де вказується назва та зображення будівництва, генпідрядник та інша необхідна інформація згідно до Порядку виконання будівельних робіт (постанова КМУ від 13.04.2011 № 466 [5]).

Організація тимчасового енергопостачання необхідно починати з визначення необхідної кількості та потужності генераторів, якщо керівний склад будівельної групи прийняв рішення використовувати саме такий спосіб електропостачання з огляду на відсутність можливості або підключення до централізованих мереж займає дуже багато часу. Коли мова йде про нове будівництво, наприклад, сонячної електростанції, потрібно уявляти значні територіальні площі, роботи на яких ведуться повсюдно, а не зосереджені в одній точці. Тож розрахунок потрібної кількості та потужності генераторів для робочих бригад йде окремим пунктом підготовки до будівельного виробництва на майданчику, та залежить від кількості бригад та їх призначення (наприклад, бригади, що працюють з бетоном). Також варто звернути увагу на кількість охоронних пунктів, для кожного з яких «зарезервований» генератор. Залишається визначитись з кількістю джерел

енергопостачання для фактично потрібних модульних будівель, зварювальних робіт та ін. При виборі потужності генератора важливо враховувати у яку або які пори року вестимуться будівельні роботи, тому що у холодний період не обійтись без обігрівального обладнанн

Звісно, жодна система електропостачання не обійдеться без кабельної продукції. Згідно Правил улаштування електроустановок (ПУЕ), найменший переріз жил проводів та кабелів у зовнішніх електропроводках за умовою механічної міцності має бути не менше $1,5 \text{ мм}^2$ для мідних жил та $2,5 \text{ мм}^2$ – для алюмінієвих.[6]

Прокладка має здійснюватися по стінах модульних будівель за допомогою відповідного кріплення. Необхідний переріз визначається, виходячи з розрахунку потужності електроприймачів. Для однотипних об'єктів розрахунки не проводяться кожен раз, організація забезпечення будівельного майданчика, в тому числі будівельного містечка, електроенергією проводиться з урахуванням організації минулих будівельних виробництв та ґрунтується на практичному досвіді.

1.2 Сучасні підходи та варіанти щодо організації електрозабезпечення будівельного майданчика: централізована лінія, децентралізовані дизель-генератори з виходом на гібридні системи з ВДЕ. Переваги та недоліки існуючих підходів

Для забезпечення енергетичних потреб будівництва використовують генератори на дизельному паливі та/чи бензині або організовують підключення до електричних мереж будівельних струмоприймачів у випадку, якщо поряд з об'єктом будівництва знаходиться підстанція. Для живлення будівельного майданчику від високовольтних мереж використовують комплектні пересувні однотрансформаторні підстанції. Для її вибору складають перелік електроприймачів із зазначеними потужностями, графік будівництва для розуміння коли та які електроприймачі будуть застосовані.

В залежності від типів запланованих робіт проектується та прокладається повітряна ЛЕП або кабельна лінія в землі.

Процедура підключення може тривати більш, ніж 2 місяці, адже потребує підготовки певної кількості документів, їх погодження у відповідних структурах та органах. Вище вже вказувалося, що для довготривалих будівельних виробництв цей спосіб електропостачання є більш доцільним, проте для об'єктів тривалістю декілька місяців, максимум – до півроку, коли, до того ж, між підписанням договору та початком будівництва не настільки великий проміжок часу, він ускладнює процес підготовки та мобілізації. Додатково необхідно враховувати фізичну процедуру підключення, тобто прокладання кабельної продукції, яка також займає певний час.

Якщо мова йде про реконструкцію підстанції, то електропостачання будівельного процесу забезпечується за допомогою приєднання будівельних струмоприймачів до систем власних потреб підстанції.

Найбільш швидким способом забезпечити електроенергією будівельний майданчик є застосування дизельних або бензинових генераторів. На сьогоднішній день є можливість застосовувати їх в сукупності з електростанціями, які використовують абсолютно безкоштовне та екологічне джерело енергії – сонячні, вітряні електростанції, електростанції на основі біомаси. Багато з виробників, в тому числі українського ринку, пропонують гібридні системи з можливістю виходу на дизельні або бензинові генератори. В якості прикладу можна навести сонячні електростанції серії RT-MSPP виробництва компанії «Рентехно», схема яких зображена на рис.6.

Сонячні електростанції цієї серії легко транспортуються та можуть бути швидко змонтовані на будь-якому ґрунті за рахунок спеціального кріплення сонячних модулів. Системи електроживлення серії RT-MSPP обладнані акумуляторними батареями, які дозволяють цілодобово постачати електроенергію споживачу. В якості опції рекомендоване встановлення дизельного генератора, який забезпечить резервування системи та вищу степінь надійності стабільної роботи резервованого навантаження. [7]

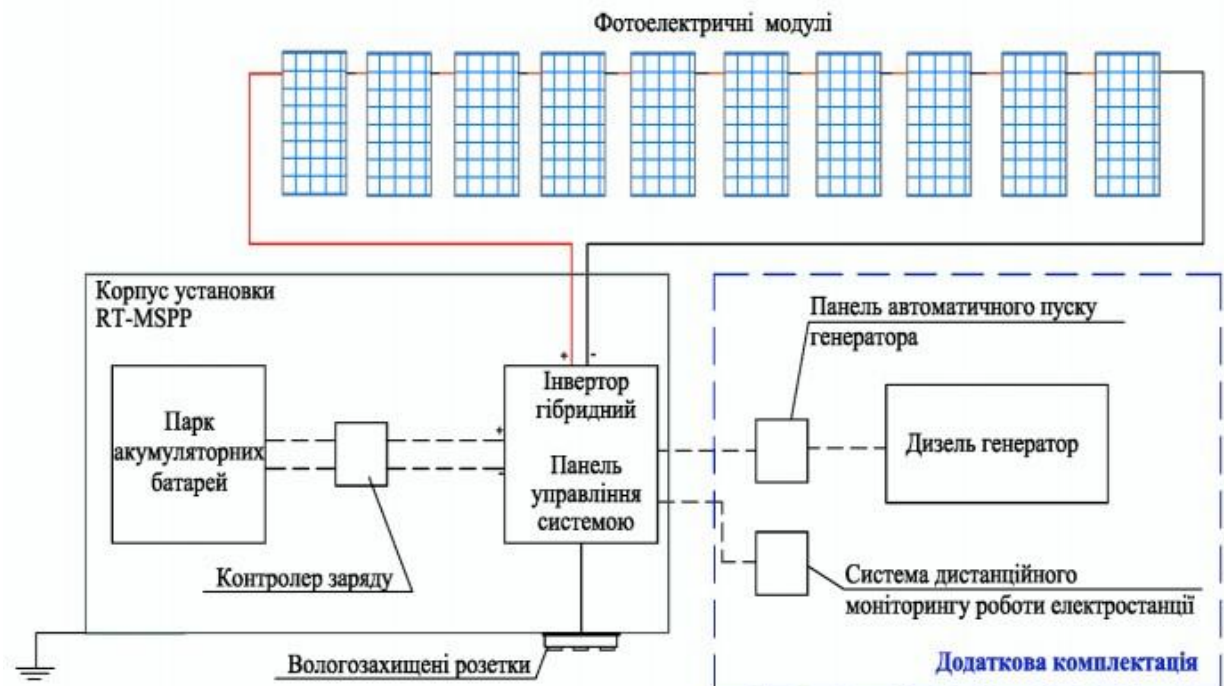


Рисунок 6 - Принципова схема мобільних автономних сонячних електростанцій серії RT-MSPP

Звісно, наявність генератора збільшує вартість станції, як і додаткове обладнання для нього, але з огляду на залежність генерації електроенергії від погодних умов, необхідно застрахувати важливу частину будівельного виробництва від повного відключення енергопостачання, так як це прямо впливає на дієздатність великої частини будівельного персоналу, що, в свою чергу, впливає на терміни будівництва та на супутні витрати компанії.

Дизельний генератор в якості додаткової опції може працювати в декількох режимах: вмикання у разі відсутності генерації та розряджених

АКБ автоматично або ручним способом й щоденно вмикання на певний, заданий період часу, знову ж таки, автоматично або ручним способом.

Енергозабезпечення будівельного майданчика – це завжди тимчасові заходи, яким би тривалим не було будівельне виробництво, воно не має потребувати значних зусиль. Сонячна радіація підходить найкраще для цієї ситуації, тому що інсоляція в Україні навіть краща, аніж в Німеччині[7], чого не можна сказати про швидкість вітру. Значні потужності виробляються великою кількістю ВЕС, в основному, на північному узбережжі України та на Західній Україні в Карпатах, де найбільша швидкість вітру по Україні. [9] Для генерації більш-менш значної потужності необхідно виконувати певні умови, такі як висота щогли, певна визначена швидкість вітру для виходу вітрогенератора на номінальну потужність. Усе це є причиною того, що мобільні ВЕС не є популярним рішенням для децентралізованого забезпечення, наприклад, будівельних майданчиків електроенергією.

Згадані вище електростанції на основі біомаси більше підходять для стаціонарного електропостачання, наприклад, сільських господарств, де існує велика кількість відходів, що можуть перероблятися природним шляхом, та на їх основі генерується електроенергія. Для мобільного електропостачання будівельного виробництва використання таких електростанцій не є доцільним через відсутність підходящих відходів та складну для швидкого монтажу та демонтажу структуру.

1.3 Оцінка потенціалу використання децентралізованих систем електрозабезпечення на базі мобільних модульних гібридизованих станцій з ВДЕ: прогностичний економічний, екологічний ефекти від застосування рішень, проблематика створення систем, основні вимоги до подібних установок, недоліки залежності від погодних умов

Як вже відзначалось вище, основним джерелом електропостачання нині постає ДЕС або бензинові електростанції. Відповідно, починати треба з закупівлі певної кількості генераторів згідно до об'єму електроенергії, що споживається на об'єкті, який потребує автономного енергопостачання (для цього складають графік навантажень). Як показує практика, через деякий короткий час генератори потребують ремонту, найчастіше через умови використання. Це тягне за собою витрати як на ремонт, так і на їх перевезення, чим не можна знехтувати при економічному аналізі через сумарно значні суми коштів. Інші витрати припадають на закупівлю палива. Коли йде мова про гібридизовані станції з ВДЕ, звісно, задля забезпечення безперебійного енергопостачання, не можна відмовитись від ДЕС, а це означає ті ж самі перелічені витрати, проте:

- кількість генераторів значно менша, тож витрати на їх закупівлю та паливо скорочуються;
- завдяки статусу резерву фактична їх експлуатація приводить до значно меншої кількості звернень за ремонтом.

Наприклад, будівельні майданчики зазвичай працюють в денний час доби, коли є можливість використовувати сонячну радіацію завдяки ФЕС. Звісно, одноразові витрати на закупівлю сонячних панелей, необхідного обладнання та кабельної продукції, перевезення необхідно враховувати, аби аналіз не був односторонній, проте експлуатація СЕС передбачає мінімум втручання в свою роботу. Це досягається за допомогою максимальної автоматизації процесів, як, наприклад, перемикання навантаження споживачів на електроживлення від ДЕС, так як сучасні системи забезпечують інтелектуальне управління генератором – деякі інвертори підтримують два входи змінного струму й можуть самостійно запускати генератор, коли акумулятори розряджаються до визначеного користувачем

рівня. Це дозволяє уникнути глибокого розряду акумуляторів, а також виключити вірогідність повної відсутності електропостачання.

Використання ВДЕ, нехай й з паралельною роботою за потреби дизельних або бензинових генераторів, дозволяє знизити забруднення оточуючого середовища, адже основним джерелом енергії виступає абсолютно екологічна сонячна радіація, енергія вітру або ж біомаса чи біогаз із неї.

Проблематика мобільних модульних гібридизованих станцій з ВДЕ полягає у відносно значних інвестиціях в закупівлю необхідних складових, залежність від погодних умов, що потребує додаткових технічних рішень, окрім паралельної роботи ДЕС, як, наприклад, використання трекерної системи, розгляд альтернатив повсюдно задіяним монокристалічним панелям у вигляді аморфних сонячних панелей, які є гарним рішенням для генерації в умовах розсіяного світла (що є особливо актуальним взимку), й до того ж двосторонніх, ефективність яких й без того достатньо високу можна ще збільшити за рахунок застосування відбиваючих властивостей поверхні, на яку вони встановлені.

Слово «мобільна» саме по собі вже вказує на те, що така установка не має задавати проблем при її перевезенні та встановленні на місці – це має бути швидко, зручно та не потребувати значних капіталовкладень. Наладка має бути достатньо простою, аби не займати багато часу. Залежно від площі території, де застосовуватиметься станція, може існувати вимога щодо її розмірів – в даному випадку перед розробниками постає питання розташування панелей, із врахуванням того, що їх кількість має прямо пропорційну залежність від потужності, яку прагне отримати користувач.

1.4 Аналіз принципів роботи, структури та складу обладнання існуючих стаціонарних автономних та гібридних

станцій: проаналізувати ФЕС з накопиченням, ВЕС з накопиченням, системи з можливістю додавання додаткового джерела, наприклад ДЕС

1.4.1 Автономна ФЕС з накопиченням

Таке рішення підходить для випадків, коли необхідно забезпечити енергонезалежність, в тому числі від короточасних відключень електроенергії, знизити витрати на електропостачання, адже сонячна радіація є невичерпним джерелом енергії, забезпечити електропостачання там, де немає доступу до централізованих мереж електропостачання. Нижче наведена типова структура автономної фотоелектричної станції з накопиченням (рис 7.)



Рисунок 7 - Типова структура автономної фотоелектричної станції з накопиченням

Принцип дії автономного інвертора полягає в наступному: в денний час сонячні панелі виробляють електроенергію, яка через контролер накопичується в акумуляторних батареях, далі від акумуляторних батарей

через інвертор, який перетворює постійний струм на змінний, йде до електроспоживачів

.На сьогоднішній день існують інвертори з вбудованим контролером заряду, що являє собою рішення для станцій з відносно великою потужністю через складність вибору окремого контролеру.

1.4.2 Гібридна ФЕС з накопиченням

Цей тип сонячної електростанції від попереднього відрізняє тип інвертора, який використовується – згідно із назвою, це гібридний інвертор. Він коштує дорожче за автономний, але при цьому є можливість синхронізуватися із зовнішніми електричними мережами, куди можна передавати надлишкову накопичувану енергію за її наявності по «Зеленому тарифу» або використовувати, наприклад, звідти електроенергію для енергопостачання у вечірній або нічний час доби.

Загалом, для цього типу ФЕС можна виділити три режими:

1) Протягом дня сонячні панелі генерують електроенергію на повний заряд АКБ, а коли з'являється надлишок – він або переходить у мережу по «зеленому тарифу», або використовується споживачами.

2) Використовується накопичена в АКБ електроенергія або частково, або до їх повного розряду, після чого надходження живлення перемикається на централізовану мережу змінного струму. При цьому, інвертор продовжує роботу, доповнюючи заряд акумуляторних батарей.

3) Акумулятори у звичайному режимі не задіяні взагалі, тільки за присутності збоїв у живленні або повному відключенні електроенергії у централізованих мережах. Тим часом інвертор перетворює постійний струм на змінний та постійно передає до

споживачів. Якщо з'являється надлишок електричної енергії, вона, знову ж таки, передається в мережу за «зеленим тарифом».

Нижче наведений приклад структурної схеми гібридної ФЕС з накопиченням (рис. 8) [8]

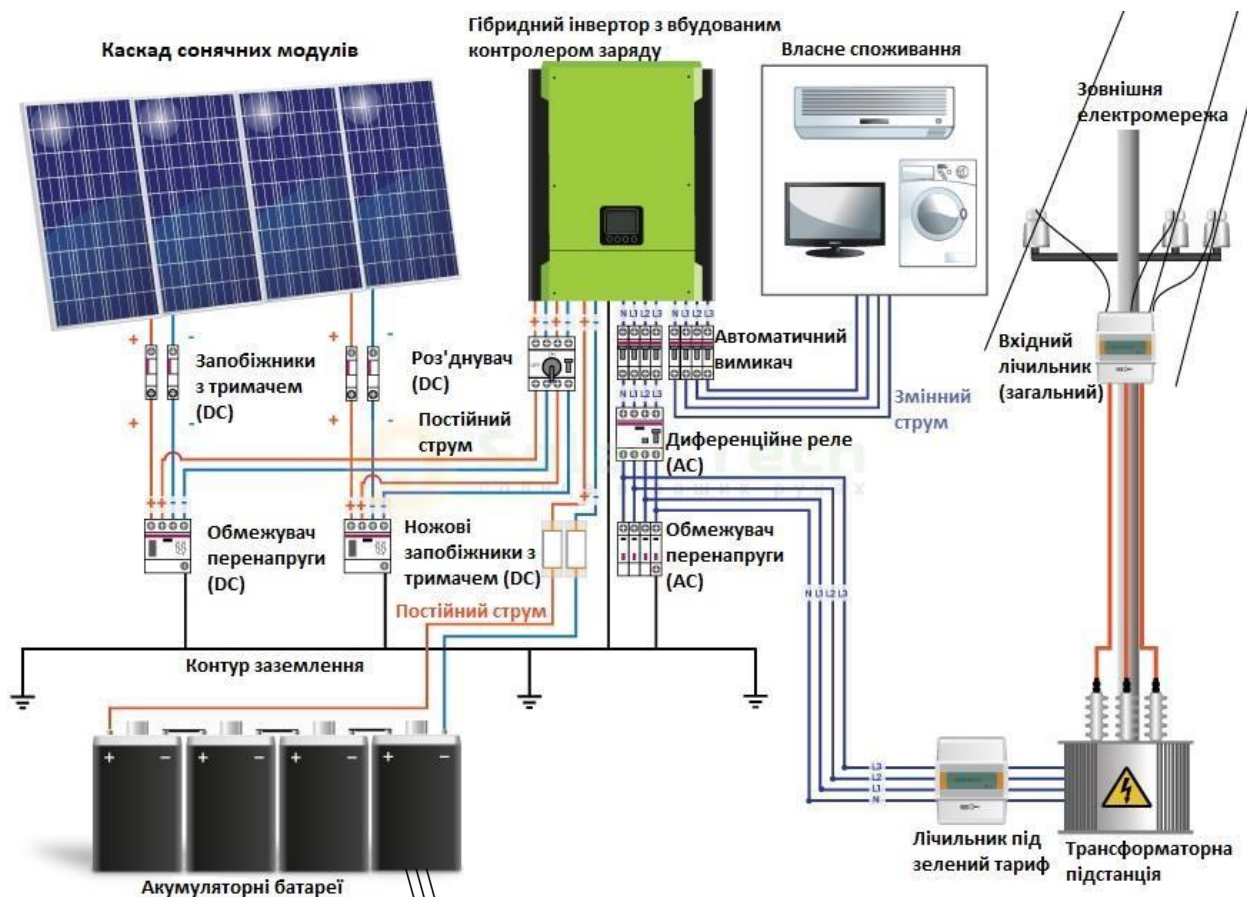


Рисунок 8 - Структурна схема ФЕС з накопиченням

1.4.3 Автономна ВЕС з накопиченням

Має той самий принцип, що стосується видачі електроенергії, що й автономна СЕС з накопиченням: вироблена енергія через контролер заряду надходить до акумуляторних батарей та через інвертор забезпечує необхідний об'єкт електроенергією.

Варто звернути увагу на такий нюанс, коли АКБ заряджені на рівні потужності, що визначається зарядним струмом, надлишкова вироблена електроенергія не знаходить корисного використання й витрачається на збільшення частоти обертання вітроколеса, що призводить до зменшення коефіцієнта корисної дії. Утилізація електроенергії ВЕУ, яка не може бути використана навантаженнями в конкретний момент часу, може проводитись утилізатором потужності автоматичного керування, підключеним до блоку управління паралельно реальним електроспоживачам. В якості утилізатора потужності доцільним є використання електронагрівальних елементів, що забезпечують гаряче водопостачання та електроопалення споживачів. Схема ВЕУ з утилізатором потужності показана на рис. 9. [9]

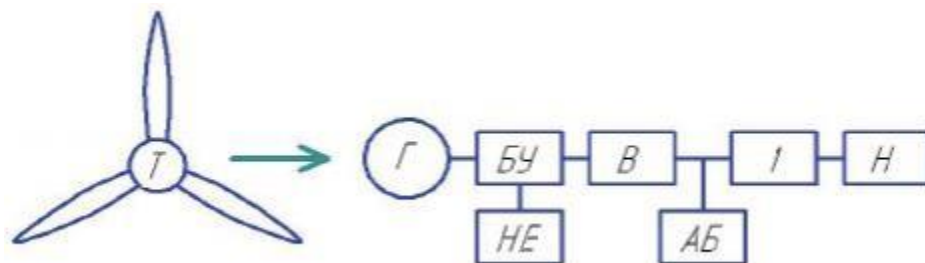


Рисунок 9 - Структурна схема ВЕУ з утилізатором потужності, де: Т – турбіна, Г – генератор, БУ – блок управління, НЕ – нагрівальний елемент, В – випрямляч, АБ – акумуляторні батареї, І – інвертор, Н – навантаження

Варто враховувати при проектуванні або виборі вітрогенератора, що акумуляторні батареї виконуються на напругу кратну 12 В, тож генератор ВЕУ має виконуватись на відповідну напругу постійного струму.

1.4.4 Гібридна ВЕС з накопиченням

Сенс аналогічний гібридній ФЕС з накопиченням. Іноді під гібридною ФЕС або ВЕС розуміють поєднання в одній електростанції сонячних панелей з вітроелектричною установкою, часто навіть з розміщенням перших на щоглі ВЕУ. Собівартість електроенергії, виробленої ВЕУ, є дещо дешевшою, аніж від сонячних панелей, тож така комбінація є вигідною в багатьох аспектах, особливо за наявності у регіону, де планується встановлення, достатньої швидкості вітру для виходу вітряної установки на номінальну потужність.

1.5 Висновки та постановка задач щодо розробки об'єкту децентралізовано електрозабезпечення для будівельного майданчика

На сьогоднішній день існує достатньо технічно-економічного обґрунтування того, що застосування електростанцій на основі ВДЕ є раціональним за умови розумного підходу до проектування, розробки та застосування установок.

У рамках розробки об'єкту децентралізованого електрозабезпечення для будівельного майданчика варто враховувати вимоги до отриманого технологічного рішення:

1) Розроблена установка має забезпечувати будівельне виробництво електроенергією безперервно в необхідній кількості та відповідної якості (напруги, частоти струму, мінімальні втрати напруги в мережі);

2) Мінімальні витрати часу на її монтаж, запуск та подальшу експлуатацію,

3) Мобільність установки, що дозволяє пересувати її без зайвих проблем та значних витрат коштів.

4) Витрати на розробку або ж закупівлю об'єкту децентралізованого електрозабезпечення для будівельного майданчика мають бути обґрунтованими.

В якості зазначеного об'єкту обрано сонячну електростанцію з накопиченням з виходом на дизельний або бензиновий генератор. Необхідно буде розглянути способи збільшення ефективності генерації електроенергії за допомогою аналізу застосування певного типу сонячних панелей розгляд та порівняння видів трекерних систем (одно- та двоосних) для впровадження в установку, проектування додаткового покриття поверхні із віддзеркаленням та інших засобів, що приведуть до якісного співвідношення капіталовкладень в цей об'єкт децентралізованого електрозабезпечення для будівельного майданчика та його характеристик.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Перелік та характеристика електрообладнання для потреб будівельного майданчика

Таблиця 1 – Перелік та характеристика обладнання

| Найменування групи | Номінальна встановлена потужність | Кількість ЕП | Коефіцієнти | |
|--|---|----------------|----------------|----------------|
| | $p_{\text{ном.і}}, \text{Вт}$ | $n, \text{шт}$ | $K_{\text{в}}$ | $\cos \varphi$ |
| Ноутбуки | 48 | 7 | 0,7 | 0,7 |
| Побутові прилади | 800 | 2 | 0,2 | 0,9 |
| | 1500 | 2 | | |
| | 2000 | 1 | | |
| Обігрівальні/охолоджувальні прилади | 2000 | 3 | 0,5 | 0,85 |
| | 680 | 5 | | |
| Будівельний інструмент | 2200 | 1 | 0,5 | 0,7 |
| | 4400 | 1 | | |
| | 700 | 6 | | |
| | 3000 | 1 | | |
| | 750 | 2 | | |
| Принтери | 15 | 3 | 0,3 | 0,8 |
| Системи відеонагляду | 40 | 3 | 1 | 1 |

Кінець таблиці 1

| | | | | |
|------------|-----|----|-----|------|
| Освітлення | 100 | 4 | 0,8 | 0,98 |
| | 6 | 10 | | |

2.2 Опис технологічного процесу та графіка роботи будівельного майданчика

Розглядаємо технологічний процес будівництва сонячної електростанції. Для таких об'єктів є типовий або базовий графік робіт, який в своїй основі щодо переліку робіт залишається незмінним для будь-якої потужності СЕС та зазнає змін залежно від проектних рішень, як, наприклад, спосіб встановлення стійок столів під ФЕМ, наявність КТП, РП та ін.

Перед початком виробництва робіт на майданчику облаштовується будівельне містечко: розчищається та планується територія, завозяться вагончики-побутовки, розміщуються закритий та відкритий склади, облаштовуються комунікації (електромережі, тимчасова система відеоспостереження).

Першим етапом будівництва йде нульовий цикл, під час якого виконується загальне планування території, корчування дерев за їх наявності, геодезична розмітка меж земельної ділянки згідно кадастрової карти. На цьому етапі для робіт експлуатується спецтехніка.

Надалі паралельними процесами виконуються роботи з монтажу металевих конструкцій під ФЕМ та огорожі території ФЕС. Використовується, знову ж таки, спецтехніка для розвезення та розвантаження матеріалів для столів під ФЕМ та для елементів огороження, буріння отворів у ґрунті після геодезичної розмітки та розмітки під буріння лунок. Потім встановлюються та бетонуються стійки, після чого монтуються металоконструкції та сітчасті

панелі огороження. Коли зібрана певна кількість столів під ФЕМ, приступають до монтажу, безпосередньо, сонячних панелей.

Будівельну частину доповнює розділ КТП, для якого необхідно підготувати фундаменти блоків захисту, маслоприймачів та огороження, розділ РП, для якого необхідно підготувати фундаменти блоків кабельних ліній, блоків вимикачів, захисту та обліку, блоків ТВП (трансформатора власних потреб), підтримуючих конструкцій шинопроводів, фундамент під ЗПК (загальнопідстанційний пункт керування) та огороження, та улаштування внутрішньооб'єктових дорог.

Прийнято ділити, в цілому, виробництво робіт на будівництві СЕС на будівельну та електричну частини, перша зазвичай випереджає другу, але послідовно вони не виконуються, їх реалізація має паралельний характер.

В електричній частині має місце встановлення силового електрообладнання на КТП та РП, інверторів, суматорів, розкопування траншей для кабельних ліній, їх прокладання за технологією, підключення до відповідного електрообладнання, улаштування заземлення та блискавкозахисту, розділ АСКОЕ, системи моніторингу, релейного захисту та автоматики, телемеханіки та зв'язку, встановлення охоронного відеоспостереження та автоматичної пожежної сигналізації.

Будівництво ФЕС завершується пусконаладжувальними роботами та лабораторними випробуваннями для перевірки правильності монтажу.

Тривалість того чи іншого етапу залежить від потужності запроектованої сонячної електростанції, тому ще це безпосередньо впливає на кількість металоконструкцій під сонячні панелі, кількість самих сонячних панелей, кількість та довжину кабельних ліній та ін. Якщо мова йде про будівництво СЕС потужністю 1 МВт, це може зайняти півтора місяці, якщо про 20 МВт –

не менше декількох місяців. Очевидно, це лише один із факторів, які впливають на тривалість виробництва робіт.

2.3 Моделювання графіка електричних навантажень будівельного майданчика

Розраховуємо електричні навантаження статистичним модифікованим методом, приймаючи коефіцієнти використання та потужності фактичні відносно наявних електроприймачів та їх фактичного використання (табл. 2.2).

1 Розраховуємо сумарну номінальну активну та реактивну потужність груп електроприймачів:

Ноутбуки:

$$\sum P_{\text{ном.Н}} = P_{\text{ном.Н}} \cdot n_{\text{Н}} = 48 \cdot 7 = 336 \text{ Вт} \quad (1)$$

$$\sum Q_{\text{ном.Н}} = P_{\text{ном.Н}} \cdot \text{tg}\varphi = 336 \cdot 1.02 = 342.72 \text{ вар} \quad (2)$$

$$\text{tg}\varphi = \frac{\sqrt{1-\cos^2\varphi}}{\cos\varphi} = \frac{\sqrt{1-0.7^2}}{0.7} = 1.02 \quad (3)$$

Побутові прилади:

$$\begin{aligned} \sum P_{\text{ном.П}} &= P_{\text{ном.П1}} \cdot n_{\text{П1}} + P_{\text{ном.П2}} \cdot n_{\text{П2}} + P_{\text{ном.П3}} \cdot n_{\text{П3}} = 800 \cdot 1 + 1500 \cdot 2 + \\ &+ 2000 \cdot 1 = 6600 \text{ Вт} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\sum Q_{\text{ном.П}} = P_{\text{ном.П}} \cdot \text{tg}\varphi = 6600 \cdot 0,484 = 3194,4 \text{ вар} \quad (5)$$

$$\text{tg}\varphi = \frac{\sqrt{1-\cos^2\varphi}}{\cos\varphi} = \frac{\sqrt{1-0.9^2}}{0.9} = 0,484 \quad (6)$$

Обігрівальні/охолоджувальні прилади:

$$\sum P_{\text{ном.О}} = P_{\text{ном.О1}} \cdot n_{\text{О1}} + P_{\text{ном.О2}} \cdot n_{\text{О2}} = 2000 \cdot 3 + 680 \cdot 5 = 9400 \text{ Вт} \quad (7)$$

$$\sum Q_{\text{ном.О}} = P_{\text{ном.О}} \cdot \text{tg}\varphi = 9400 \cdot 0,62 = 5828 \text{ вар} \quad (8)$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sqrt{1-\cos^2\varphi}}{\cos\varphi} = \frac{\sqrt{1-0.85^2}}{0.85} = 0,62 \quad (9)$$

Будівельний інструмент:

$$\begin{aligned} \sum P_{\text{ном.Б}} &= P_{\text{ном.Б1}} \cdot n_{\text{Б1}} + P_{\text{ном.Б2}} \cdot n_{\text{Б2}} + P_{\text{ном.Б3}} \cdot n_{\text{Б3}} + P_{\text{ном.Б4}} \cdot n_{\text{Б4}} + \\ &+ P_{\text{ном.Б5}} \cdot n_{\text{Б5}} = 2200 \cdot 1 + 4400 \cdot 1 + 700 \cdot 6 + 3000 \cdot 1 + 750 \cdot 2 = \\ &= 15\,300 \text{ Вт} \end{aligned} \quad (10)$$

$$\sum Q_{\text{ном.Б}} = P_{\text{ном.Б}} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 15\,300 \cdot 1,02 = 15\,606 \text{ вар} \quad (11)$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sqrt{1-\cos^2\varphi}}{\cos\varphi} = \frac{\sqrt{1-0.7^2}}{0.7} = 1,02 \quad (12)$$

Принтери:

$$\sum P_{\text{ном.Пр}} = P_{\text{ном.Пр}} \cdot n_{\text{Пр}} = 15 \cdot 3 = 45 \text{ Вт} \quad (13)$$

$$\sum Q_{\text{ном.Пр}} = P_{\text{ном.Пр}} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 45 \cdot 0,75 = 33,75 \text{ вар} \quad (14)$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sqrt{1-\cos^2\varphi}}{\cos\varphi} = \frac{\sqrt{1-0.8^2}}{0.8} = 0,75 \quad (13)$$

Системи відеонагляду:

$$\sum P_{\text{ном.В}} = P_{\text{ном.В}} \cdot n_{\text{В}} = 40 \cdot 3 = 120 \text{ Вт} \quad (14)$$

$$\sum Q_{\text{ном.В}} = 0 \quad (15)$$

Освітлення:

$$\sum P_{\text{ном.О}} = P_{\text{ном.О1}} \cdot n_{\text{О1}} + P_{\text{ном.О2}} \cdot n_{\text{О2}} = 100 \cdot 4 + 6 \cdot 10 = 460 \text{ Вт} \quad (16)$$

$$\sum Q_{\text{ном.О}} = P_{\text{ном.О}} \cdot \operatorname{tg}\varphi = 460 \cdot 0,203 = 93,38 \text{ вар} \quad (17)$$

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{\sqrt{1-\cos^2\varphi}}{\cos\varphi} = \frac{\sqrt{1-0.98^2}}{0.98} = 0,203 \quad (18)$$

2. Розраховуємо середньозмінну потужність для кожної групи електроприймачів:

Ноутбуки:

$$P_{зм.Н} = \sum P_{ном.Н} \cdot K_B = 336 \cdot 0,7 = 235,2 \text{ Вт} \quad (19)$$

$$Q_{зм.Н} = P_{зм.Н} \cdot tg\varphi = 235,2 \cdot 1,02 = 239,904 \text{ вар} \quad (20)$$

Побутові прилади:

$$P_{зм.П} = \sum P_{ном.П} \cdot K_B = 6600 \cdot 0,2 = 1320 \text{ Вт} \quad (21)$$

$$Q_{зм.П} = P_{зм.П} \cdot tg\varphi = 1320 \cdot 0,484 = 638,88 \text{ вар} \quad (22)$$

Обігрівальні/охолоджувальні прилади:

$$P_{зм.О} = \sum P_{ном.О} \cdot K_B = 9400 \cdot 0,5 = 4700 \text{ Вт} \quad (23)$$

$$Q_{зм.О} = P_{зм.О} \cdot tg\varphi = 4700 \cdot 0,62 = 2917 \text{ вар} \quad (24)$$

Будівельний інструмент:

$$P_{зм.Б} = \sum P_{ном.Б} \cdot K_B = 15\,300 \cdot 0,5 = 7650 \text{ Вт} \quad (25)$$

$$Q_{зм.Б} = P_{зм.Б} \cdot tg\varphi = 7650 \cdot 1,02 = 7803 \text{ вар} \quad (26)$$

Принтери:

$$P_{зм.П} = \sum P_{ном.П} \cdot K_B = 45 \cdot 0,3 = 13,5 \text{ Вт} \quad (27)$$

$$Q_{зм.П} = P_{зм.П} \cdot tg\varphi = 13,5 \cdot 0,75 = 10,125 \text{ вар} \quad (28)$$

Системи відеонагляду:

$$P_{зм.П} = \sum P_{ном.П} \cdot K_B = 120 \cdot 1 = 120 \text{ Вт} \quad (29)$$

$$Q_{зм.П} = 0 \quad (30)$$

Освітлення:

$$P_{\text{зм.0}} = \sum P_{\text{ном.0}} \cdot K_B = 460 \cdot 0,8 = 368 \text{ Вт} \quad (31)$$

$$Q_{\text{зм.0}} = P_{\text{зм.0}} \cdot \text{tg}\varphi = 368 \cdot 0,203 = 74,704 \text{ вар} \quad (32)$$

Результат розрахунків зведено у табл.2:

Кінець таблиці 2

| | | | | | | | | | |
|-------------------------------|------|----|--------|-----|------|-------|----------|----------|------------|
| | 700 | 6 | | | | | | | 2 940 000 |
| | 3000 | 1 | | | | | | | 9 000 000 |
| | 750 | 2 | | | | | | | 1 125 000 |
| Принтери | 15 | 3 | 45 | 0,3 | 0,8 | 0,75 | 13,5 | 10,125 | 675 |
| Системи відеоспостереження | 40 | 3 | 120 | 1 | 1 | - | 120 | 0 | 4800 |
| Освітлення | 100 | 4 | 460 | 0,8 | 0,98 | 0,203 | 368 | 74,04 | 40 000 |
| | 6 | 10 | | | | | | | 360 |
| | | | 36 261 | | | | 14 406,7 | 11 679,9 | 37 225 563 |

3. Розраховуємо середньозважений коефіцієнт використання:

$$K_{в.ср} = \frac{\sum P_{зм.i}}{\sum P_{ном.i}} = \frac{14\,406,7}{32\,261} = 0,45 \quad (33)$$

4. Розраховуємо ефективне число електроприймачів:

$$N_e = \frac{(\sum P_{ном})^2}{\sum (n_i \cdot P_{ном.i}^2)} = \frac{32\,261^2}{37\,225\,563} = 27,959 = 27 \quad (34)$$

5. За таблицею 1, Додаток А знаходимо розрахунковий коефіцієнт $K_p = f(N_e; K_{в.ср}) = f(27; 0,45) = 1$.

6. Знаходимо розрахунковий максимум активної, реактивної та повної потужності:

$$P_M = K_p \cdot \sum P_{зм.i} = 1 \cdot 14\,406,7 = 14\,406,7 \text{ Вт} = 14,4 \text{ кВт} \quad (35)$$

$$Q_M = K_p \cdot \sum Q_{зм.i} = 1 \cdot 11\,679,949 = 11\,679,949 = 11,7 \text{ квар} \quad (36)$$

$$S_M = \sqrt{P_M^2 + Q_M^2} = \sqrt{14\,406,7^2 + 11\,679,949^2} = 18\,5500 \text{ ВА} = 18,6 \text{ кВА} \quad (37)$$

До моделювання представляється добовий графік електричних навантажень (ГЕН) будівельного містечка (рис. 10):



Рисунок 10 - Добовий графік електричних навантажень будівельного містечка

2.4. Вибір типу і параметрів фотоелектричних модулів (ФЕМ) до встановлення на ФЕС

До встановлення на ФЕС обрано два типи фотоелектричних модулів: монокристалічні та з аморфного кремнію.

З монокристалічних при розрахунку будуть використані двосторонні сонячні батареї JA Solar JAM72D10/MB 410W framed (Bifacial Mono PERC Half-cell Double Glass MBV) з наведеними у табл. 3 характеристиками:

Таблиця 3 - Паспортні характеристики ФЕМ JA Solar 410W

| | |
|------------------------------------|--------------------------|
| Номінальна потужність, Вт | 513* |
| Струм короткого замикання, А | 12,81 |
| Тип фотоелементу | Монокристалічний кремній |
| НОСТ | 45 °C |
| Температурний коефіцієнт P_{max} | -0,354%/°C |
| Розміри модуля, мм | 2015 × 997 × 30 |
| ККД, % | 20,4 |

* Заявлена потужність має в собі 25% приросту потужності за рахунок відзеркалюючої поверхні під панелями .

З аморфних панелей при розрахунку будуть використані двосторонні сонячні батареї Solar Frontier SF170-S з наведеними нижче характеристиками в табл. 4:

Таблиця 4 - Паспортні характеристики ФЕМ Solar Frontier SF170-S

| | |
|------------------------------------|------------------|
| Номінальна потужність, Вт | 170 |
| Струм короткого замикання, А | 2,20 |
| Тип фотоелементу | Аморфний кремній |
| НОСТ | 47 °C |
| Температурний коефіцієнт P_{max} | -0,31%/°C |
| Розміри модуля, мм | 1257 × 997 × 35 |
| ККД, % | 13,8 |

2.5 Розрахунок приведених експлуатаційних параметрів ФЕМ

Очікувана температура модуля обчислюється з NOCT за формулою:

$$T_{PTC1} = 20 + 1,389 \cdot (NOCT - 20) \cdot (0.9 - \eta) = 20 + 1.389 \cdot (45 - 20) \cdot (0.9 - 0.204) = 44.169^{\circ} \quad (38)$$

$$T_{PTC2} = 20 + 1,389 \cdot (NOCT - 20) \cdot (0.9 - \eta) = 20 + 1.389 \cdot (47 - 20) \cdot (0.9 - 0.138) = 48.577^{\circ} \quad (39)$$

Потужність по PTC обчислюється з потужності STC за допомогою температурного коефіцієнта (зазначеного в технічних характеристиках) потужності (C_T):

$$P_{PTC1} = P_{STC1} \cdot (1 - C_{T1} \cdot (T_{PTC1} - 25)) = 513 \cdot (1 - 0,00354 \cdot (44,169 - 25)) = 478,189 \text{ Вт} \quad (40)$$

$$P_{PTC2} = P_{STC2} \cdot (1 - C_{T2} \cdot (T_{PTC2} - 25)) = 170 \cdot (1 - 0,0031 \cdot (48,577 - 25)) = 157,575 \text{ Вт} \quad (41)$$

Оптимальним є значення співвідношення P_{PTC} / P_{STC} , що перевищує 88%. В нашому випадку це співвідношення дорівнює 93,2% і 92.7%.

2.6. Вибір параметрів та характеристик інвертора для станції

Для розрахунку буде обрано інвертор Ахіота ISGRID 5000, 5000Вт/48В, 3 шт, із наведеними нижче хар-ми (рис. 11):

Технические характеристики:

| | |
|--|----------|
| Макс. мощность подключаемой солнечной электростанции, (Вт) | 6000 |
| Номинальная выходная мощность, (Вт) | 5000 |
| Максимально допустимое напряжение фотомодулей, (В) | 145 |
| Диапазон напряжения отслеживания точки макс. мощности, (В) | 60 - 115 |
| Количество МПРТ трекеров | 2 |

Рисунок 11 - Технічні характеристики інвертора Ахіота ISGRID 5000, 5000Вт/48В

2.7. Розрахунок параметрів та схеми з'єднань стрінгів ФЕМ для підключення до інвертора

2.7.1 Максимальний струм в ланцюгу

Струм, що генерується сонячними панелями, залежить від типу з'єднання. В послідовному з'єднанні сила струму дорівнює значенню найслабшої ланки в стрінгу, наприклад, частково затіненої панелі. При паралельному з'єднанні струм дорівнює сумі струмів від окремих панелей. Значення струму також залежить від температури, чим вона вище, тим вище генерований струм. Зміна інтенсивності струму в залежності від температури визначається коефіцієнтом I_{sc} панелі (в нашому випадку 0,044 й 0,01 %/К).

Максимальний струм, який може генерувати одна панель, можна розрахувати по формулі:

$$I_{sc(Tr)1} = I_{sc1} \cdot \left[1 + (Tr_1 - 25) \cdot \frac{\alpha_{T1}}{100} \right] = 12,81 \cdot \left[1 + (85 - 25) \cdot \frac{0,044}{100} \right] = 13,148 \text{ A} \quad (42)$$

$$I_{sc(Tr)2} = I_{sc2} \cdot \left[1 + (Tr_2 - 25) \cdot \frac{\alpha_{T2}}{100} \right] = 2,20 \cdot \left[1 + (85 - 25) \cdot \frac{0,01}{100} \right] = 2.213 \text{ A} \quad (43)$$

де:

- $I_{sc(Tr)}$ — значення струму сонячної батареї при максимальній температурі;
- I_{sc} — значення струму короткого замикання в умовах STC, вказане в характеристиці модуля;
- Tr — максимальна температура;
- α_T — температурний коефіцієнт I_{sc} .

З розрахунків видно, що для інвертора на один вхід трекера МРР рекомендується встановлювати не більше 4 паралельно з'єднаних монокристалічних панелей й не більше 27 паралельно з'єднаних тонкоплівочних. При паралельній об'єднанні струми підсумовуються, отже, сума струмів від п'яти монокристалічних панелей ($5 \cdot 13,148 = 65,74$ А) й від двадцяти восьми тонкоплівочних ($28 \cdot 2,213 = 61,964$) буде перевищувати максимальне значення в 60 А ($I_{dc\ max_1}$) для одного входу МРРТ.

2.7.2 Максимальна напруга в ланцюгу

На відміну від струму, напруга, що видається сонячною батареєю, збільшується при падінні температури панелі. Розрахунки проводять для гранично низької температури панелі. Теоретично більш високі напруги матимуть місце при більшому падінні температури, однак на практиці зимою практично неможливо отримати температуру на сонячному модулі менш ніж -25°C в умовах необхідної освітленості для початку генерації енергії. При розрахунку максимальної напруги враховуються напруги холостого ходу та температурний коефіцієнт β_T .

Значення максимальної напруги розраховується по формулі:

$$U_{OC(Tr)1} = U_{OC1} \cdot \left[1 + (Tr1 - 25) \cdot \frac{\beta_{T1}}{100} \right] = 50,20 \cdot \left[1 + (-25 - 25) \cdot \frac{-0,272}{100} \right] = 57,027\text{ В} \quad (44)$$

$$U_{OC(Tr)2} = U_{OC2} \cdot \left[1 + (Tr2 - 25) \cdot \frac{\beta_{T2}}{100} \right] = 112 \cdot \left[1 + (-40 - 25) \cdot \frac{-0,3}{100} \right] = 133,84 \text{ В} \quad (45)$$

де:

- $U_{OC(Tr)}$ — значення напруги при гранично низькій температурі;
- U_{OC} — напруга холостого ходу;
- Tr — мінімальна робоча температура;
- β_T — температурний коефіцієнт модуля.

Основоючись на цьому значенні, можна підрахувати кількість модулів у стрінгу, з'єднаних послідовно:

$$N_{max} \leq U_{DCmax}/U_{OC(Tr)} \quad (46)$$

де $U_{DC \text{ max}}$ — максимально допустиме значення напруги на вході перетворювача.

$$N_{max1} \leq U_{DCmax}/U_{OC(Tr)1} \quad (47)$$

$$N_{max1} \leq 145/43.373 \quad (48)$$

$$N_{max1} \leq 2,5 \quad (49)$$

Округляючи до цілого числа в меншу сторону, отримуємо, що в один стрінг можна встановити до 2 монокристаличних панелей.

$$N_{max1} \leq U_{DCmax}/U_{OC(Tr)2} \quad (50)$$

$$N_{max1} \leq 145/128,8 \quad (51)$$

$$N_{max1} \leq 1,083 \quad (52)$$

Округляючи до цілого числа в меншу сторону, отримуємо, що в один стрінг можна встановити 1 тонкоплівочну панель.

Розрахунок мінімальної кількості модулів в ланцюгу з врахуванням допустимої пускової напруги інвертора. Кожний інвертор має мінімальну напругу на вході, в нашому випадку це 60 В.

В свою чергу, модулі досягають мінімальної робочої напруги при гранично високій температурі. Тому мінімальна кількість панелей в стрінгу

розраховується для цієї температури, округляючи значення до більшого. В цьому випадку використовуються формули:

$$U_{OC(Tmax)1} = U_{OC1} \cdot \left[1 + (T_{max1} - 25) \cdot \frac{\beta_{T1}}{100} \right] = 50,20 \cdot \left[1 + (85 - 25) \cdot \frac{-0,272}{100} \right] = 42,007 \text{ В} \quad (53)$$

$$U_{OC(Tmax)2} = U_{OC2} \cdot \left[1 + (T_{max2} - 25) \cdot \frac{\beta_{T2}}{100} \right] = 112 \cdot \left[1 + (85 - 25) \cdot \frac{-0,3}{100} \right] = 93,52 \text{ В} \quad (54)$$

$$N_{min1} \geq U_{DCstart} / U_{OC(Tmax)1} \quad (55)$$

$$N_{min1} \geq 60 / 42,007 \quad (56)$$

$$N_{min1} \geq 1,428 \approx 2 \quad (57)$$

$$N_{min2} \geq U_{DCstart} / U_{OC(Tmax)2} \quad (58)$$

$$N_{min1} \geq 60 / 93,52 \quad (59)$$

$$N_{min1} \geq 0,641 \approx 1 \quad (60)$$

де:

- $U_{oc} (T_{max})$ — напруга при максимальній температурі;
- U_{oc} — напруга холостого ходу;
- T_{max} — максимальна робоча температура;
- β_T — температурний коефіцієнт модуля;
- N_{min} — мінімальна кількість сонячних модулів;
- $U_{dcstart}$ — стартова напруга.

Приймаємо найближче ціле значення в більшу сторону, таким чином рекомендується встановлювати послідовно не менш, ніж 2 монокристалічних модулів й достатньо 1 аморфного модуля в один стрінг.

2.8 Визначення допустимої кількості модулів в ланцюгу з врахуванням MPP трекара інвертора

Інвертор має оптимальний діапазон напруги для роботи МРР трекера. В нашому випадку цей діапазон в межах: 60-115 В.

При визначенні кількості модулів, підключених до одного входу МРР, необхідно визначити кількість панелей, при якій увесь ланцюг буде генерувати напругу в робочому діапазоні МРРТ при певних умовах. В цьому випадку підраховується максимальна і мінімальна напруга сонячної батареї для умов МРРТ, при цьому максимальне значення напруги підраховується при гранично низькій температурі й мінімальне значення при гранично високій. На основі цих значень розраховується оптимальна кількість панелей по формулам (66-67):

$$U_{MPP(Tmax)1} = U_{MPP(STC)1} \cdot \left[1 + (T_{max1} - 25) \cdot \frac{\beta_{T1}}{100} \right] = 42,65 \cdot \left[1 + (85 - 25) \cdot \frac{-0,272}{100} \right] = 35,69 \text{ В} \quad (61)$$

$$U_{MPP(Tmax)2} = U_{MPP(STC)2} \cdot \left[1 + (T_{max2} - 25) \cdot \frac{\beta_{T2}}{100} \right] = 87,5 \cdot \left[1 + (85 - 25) \cdot \frac{-0,3}{100} \right] = 71,75 \text{ В} \quad (62)$$

$$N_{min} \cdot U_{MPP(Tmax)} \geq U_{DCmin} \quad (63)$$

де:

- $U_{mpp(Tmax)}$ — напруга сонячної батареї;
- $U_{mpp(stc)}$ — оптимальна напруга МРРТ;
- T_{max} — максимальна робоча температура;
- β_T — індекс температури модуля;
- N_{min} — мінімальна кількість модулів в стрінгу;
- $U_{dc min}$ — мінімальне значення МРРТ інвертора;

$$N_{min} \cdot U_{MPP(Tmax)} \geq 60 \quad (64)$$

Таким чином:

$$N_{min1} \geq 60 / U_{MPP(Tmax)1} \quad (65)$$

$$N_{min1} \geq \frac{60}{35,69} = 1,68 \quad (66)$$

$$N_{min1} \geq \frac{60}{71,75} = 0,836 \quad (67)$$

Отриманий результат округляємо до ближчого більшого значення. Таким чином, рекомендується встановлювати не менш, ніж 2 монокристалічних та достатньо 1 аморфного модуля в стрінг для оптимальної роботи МРРТ інвертора.

2.9 Перевірка сумарної кількості сонячних модулів з врахуванням номінальної потужності інвертора

Зазвичай виробники рекомендують підключати до інвертора сонячні батареї сумарно потужністю у співвідношенні 0,8-1,2 до номінальної вихідної потужності інвертора для оптимальної роботи перетворювача. В нашому випадку інвертор має номінальну вихідну потужність $P_{ac} = 5000$ Вт. Таким чином, оптимальне значення сумарної потужності сонячних батарей знаходиться в діапазоні 4 000 – 6000 Вт.

Іноді виробники допускають і більшу кількість сонячних панелей зі співвідношенням до 1,6. Таке підключення може бути виправдане у випадку підключенням з різним орієнтуванням відносно півдня, наявності участків із затіненням й/або в регіонах з низькою сонячною інтенсивністю. Проектуючи систему із таким перенавантаженням, необхідно впевнитись, що виробник допускає такий варіант й що інвертор не загубить гарантію при такому виді монтажу.

Виходячи з вище наведених розрахунків, приймаємо наступні схеми підключення сонячних панелей до інверторів: до одного з інверторів приєднуються 32 шт аморфних панелей, по 16 на кожний трекер, з'єднані при цьому між собою паралельно; на другий і третій інвертор на обидва трекери підключається збірка панелей, яка має в собі: 2 поєднані між собою послідовно панелі, які поєднані паралельно з двома такими ж поєднаннями. Схематичний вигляд наведено на рис. 12 та рис. 13:

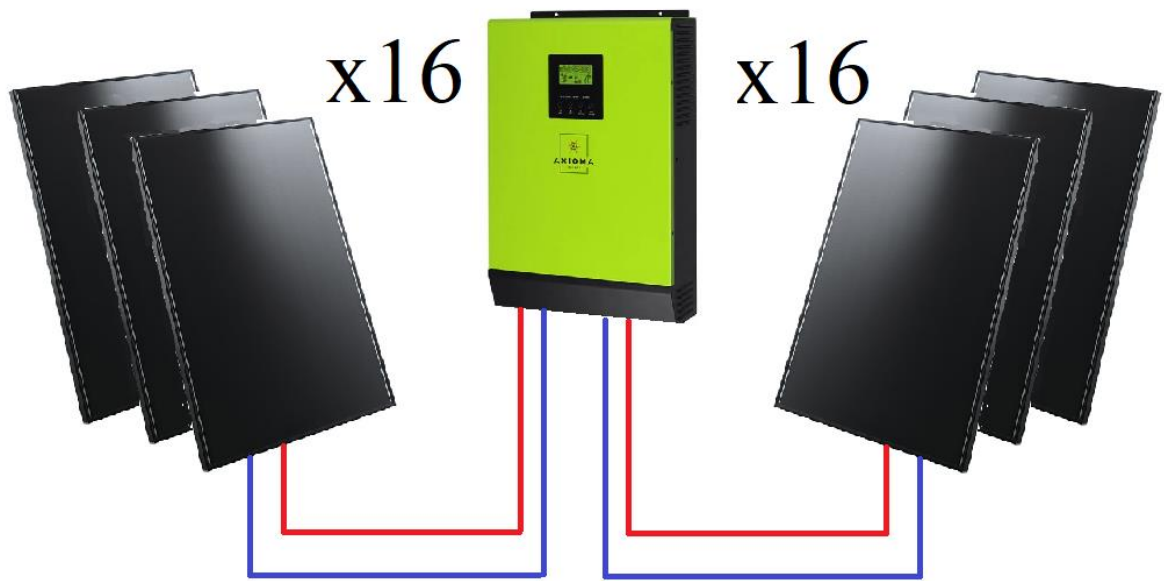


Рисунок 12 - Схема приєднання аморфних панелей до інвертора

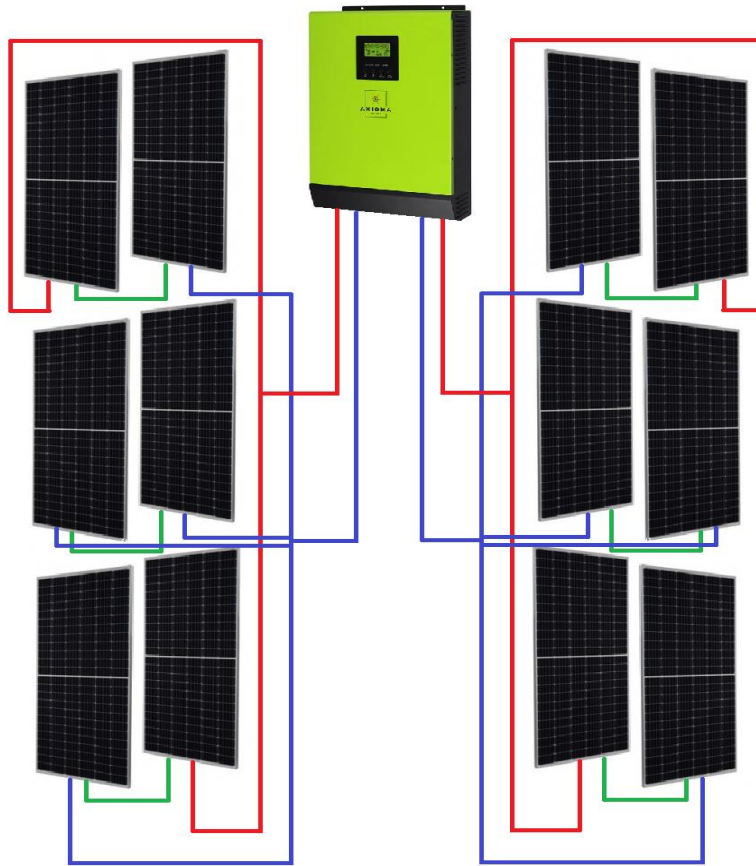


Рисунок 13 - Схема приєднання монокристалічних панелей до інвертора

2.10 Визначення конструктивних параметрів стола ФЕМ

Кут нахилу розраховується за наступною формулою:

$$\beta = 0,76\varphi + 3,1 \quad (68)$$

де β – кут нахилу активної поверхні панелі до горизонту, *град*;

φ – широта місцевості, де встановлюється ФЕС, *град*.

Через те, що будівництво не прив'язане до певного місця, приймаємо середнє значення φ – широту географічного центру України $49^{\circ}01'39''$.

$$\beta = 0,76 \cdot 49 + 3,1 = 40,34^{\circ} \quad (69)$$

ФЕМ будуть встановлюватись на двох окремих столах: окремо аморфні панелі з одним інвертором й окремо монокристалічні з двома інверторами. Для зручного перевезення та швидкого збору конструкцій на місці панелі будуть змонтовані окремими «блоками» на металоконструкціях: аморфні по 4 шт (2 в ряд та 2 в стовбець), монокристалічні по 2 шт в ряд.

Столи з ФЕМ будуть закріплюватись за допомогою розтяжок по периметру, інший кінець яких забиватиметься в землю. Це робиться для того, аби металоконструкції не переміщувались та не деформувались через вітрові навантаження та ін.

2.11 Вибір параметрів кабельних ліній мережі постійного струму

Мережа постійного струму ФЕС, окремих столів та фотоелектричних модулів виконується кабелем PV перерізом 6 мм² з мідними жилами.

2.12 Визначення втрат потужності в мережі постійного струму

Для електричних мереж постійного струму розрахунок втрат потужності виконується, виходячи з наведених вище міркувань.

Довжина кабелю типу PV 1х6 складає по лінії «+»20 м, і «-»20 м, тобто загальна довжина – 40 м.

$$\Delta P_{DC} = 2 \cdot I_{стр}^2 \cdot l_{клDC} \cdot R_0 \quad (70)$$

де R_0 – питомий опір КЛ постійного струму, який дорівнює для кабелю перерізом 6 мм² можна прийняти значенням 3,1 Ом/км;

$I_{стр}^2$ – струм, який протікає через стрінг (збірку) ФЕМ, А.

Тоді, для інвертора з аморфними панелями:

$$\Delta P_{DC1} = 2 \cdot I_{стр1}^2 \cdot l_{клDC1} \cdot R_0 = 2 \cdot 1,95^2 \cdot 0,005 \cdot 3,1 = 0,118 \text{ Вт} \quad (71)$$

Для інверторів з монопанелями:

$$\Delta P_{DC2,3} = 2 \cdot I_{стр1}^2 \cdot l_{клDC1} \cdot R_0 = 2 \cdot 2 \cdot 39,444^2 \cdot 0,0075 \cdot 3,1 = 72,346 \quad (72)$$

Втрати в мережі постійного струму складають, %:

$$\Delta P_{\%1} = \frac{\Delta P_{DC1}}{P_{інв1}} \cdot 100\% = \frac{0,118}{5000} \cdot 100\% = 0,0236\% \quad (73)$$

$$\Delta P_{\%2} = \frac{\Delta P_{DC2}}{P_{інв2}} \cdot 100\% = \frac{72,346}{10000} \cdot 100\% = 0,72\% \quad (74)$$

2.13 Вибір та обґрунтування структури та конструктивного виконання децентралізованого джерела

Переміщення проектного децентралізованого джерела електроенергії з одного об'єкта на інший відбуватиметься за допомогою фургона-причепа, у якому знаходитиметься увесь комплект автономної сонячної станції із резервним джерелом енергії. При установці блоки з панелями монтуються в столи, на металоконструкції яких встановлюються інвертори, розподільчий щит розміщується на найближчому модулі, біля якого розміщується дизельний генератор. Він вмикається в систему живлення будівельного містечка вручну за потреби, якщо сонячної інсоляції недостатньо для генерації та незаряджені акумуляторні панелі (резервне джерело).

2.14 Вибір параметрів додаткового резервного джерела енергії та накопичувачів

Для здешевлення проектової установки приймаємо, що в якості резервного джерела енергії будуть використовуватись присутні на об'єкті генератори.

Згідно паспортним даним інвертора, необхідно встановити акумуляторні батареї загальною напругою 48 В.

Запас електроенергії, якої потребує будівельне містечко:

$$W_{акб} = 15\,000 \text{ Вт} \cdot \text{год} \quad (75)$$

Необхідна для цього ємність акумуляторів:

$$C_{\text{акб}} = \frac{15\,000 \cdot 1,2}{12} = 1500 \text{ А} \cdot \text{ч} \quad (76)$$

Для того, щоб порахувати кількість потрібних акумуляторів, можемо скористатися формулою:

$$N_{\text{акб}} = \frac{C_{\text{акб}}}{100} = \frac{15\,00}{100} = 15 \quad (77)$$

де 100 – це ємність одного акумулятора.

До встановлення приймаються акумуляторні батареї AGM LogicPower LPM-MG 12 - 100 АН, 15 шт. Поєднуємо їх послідовно-паралельно задля набору необхідної напруги для інвертора та сумування ємності.

2.15 Вибір параметрів кабельних ліній напругою 0,4 кВ

Виконаємо розрахунок кабелю 0,4 кВ з ізоляцією із зшитого поліетилену для мережі 0,4 кВ від інвертора до РЩ з перевірками:

- по допустимому тривалому струму навантаження;
- за втратами напруги.

Розраховуємо струмове навантаження на 1 фазу для інвертора потужністю 5 кВт:

$$I_M^{\text{інв}} = \frac{P_{\text{інв}}^{\text{ном}}}{U_{\text{ном}} \cdot \cos\varphi} = \frac{5}{0,22 \cdot 0,9} = 25,253 \text{ А} \quad (78)$$

Приймаємо кабель марки АВБбШв 3х4 мм², $I_{\text{доп.пасп}} = 29 \text{ А}$.

Перевіримо кабель по допустимому тривалому струму навантаження:

Кабель підходить, якщо виконується умова:

$$I_p < I_{\text{доп}}$$

де I_p - розрахунковий струм в мережі, А;

$I_{\text{доп}}$ - максимальний розрахунковий струм.

Розрахунок виконуємо згідно СОУ-Н МЕВ 40.1-37471933-49-2011 "Проектування кабельних ліній напругою до 330 кВ." (Додаток Ж) [10] з урахуванням допоміжних коригувальних коефіцієнтів:

$$I_{2.5} = I_{\text{доп.пасп}} \cdot k_3 \cdot k(m) = 29 \cdot 1.04 \cdot 1.1 = 33,176 \text{ А} \quad (79)$$

де $k_3 = 1,04$ – для температури повітря влітку на рівні 25°C;

$k(m) = 1,1$ – коефіцієнт навантаження.

$$25,253 < 33,176 \text{ А} - \text{умова виконується.}$$

Переріз жили 4 мм² у заданих умовах прокладання достатній.

Для електричних мереж загального призначення норми відхилень напруги ΔU регламентовані ГОСТ 13109-97.[11]

Перевірка по відхиленням напруги зводиться до визначення фактичної і допустимої втрати напруги.

Втрати напруги в елементах електричної мережі визначаються за формулою:

$$\Delta U = \frac{2 \cdot I_M \cdot l \cdot (r_0 \cdot \cos \varphi + x_0 \cdot \sin \varphi)}{U_\phi} \cdot 100 = \frac{2 \cdot 25,253 \cdot 0,03 \cdot (7,9 \cdot 0,9 + 0,095 \cdot 0,436)}{220} \cdot 100 = 2,16\% \quad (80)$$

де I_M – максимальний розрахунковий струм лінії 0,4 кВ, А (в нашому випадку – це струм, який знаходиться за номінальною потужністю інвертора)

l – довжина лінії, км;

r_0 – питомий опір лінії, Ом/км (паспортні дані вибраного кабелю).

2.16 Вибір захисної комутаційної апаратури

Для вводу в розподільчий щит кабелів від кожного інвертора, обираємо ввідні автомати належного номіналу струму, після яких встановлюються пристрої захисного вимкнення (ПЗВ). Для захисту споживачів встановлюється по 3 автомати різних категорій в залежності від типів груп споживачів відповідно до табл.5:

Таблиця 5 - Розміщення обладнання в розподільчому щитку

| | Інвертор №1 | Інвертор№2 | Інвертор№3 | Генератор |
|------------------------------------|---|---|---|-----------|
| Ввідний автомат | Schneider Electric Easy9 1P 32A C, 1 шт | IEK ВА47-29М 1P 32А 4,5кА хар-ка. «D», 1 шт | Schneider Electric Easy9 1P 32A C, 1 шт | |
| Пристрій захисного вимкнення (ПЗВ) | АсКо УкрЕМ ПЗВ-2001 2р/40А/30мА, 1 шт | АсКо УкрЕМ ПЗВ-2001 2р/40А/30мА, 1 шт | АсКо УкрЕМ ПЗВ-2001 2р/40А/30мА, 1 шт | |
| Перемикач навантаження | ABB OT80F3C | | | |

| | | | | |
|-------------------------------|---|---|---|--|
| Автомати для групи споживачів | ІЕК ВА47-29 1Р 25А 4,5кА хар-ка. «В», 3 шт | ІЕК ВА47-29 1Р 25А 4,5кА хар-ка. «D», 3 шт | ІЕК ВА47-29 1Р 25А 4,5кА хар-ка. «В», 3 шт | |
|-------------------------------|---|---|---|--|

Автоматичні вимикачі категорії D застосовані для груп споживачів, які представляють собою індуктивне навантаження з великими пусковими струмами.

2.17 Розрахунок продуктивності децентралізованого джерела

Обчислення вироблення ФЕС електричної енергії W рекомендовано виконувати за формулою (81):

$$W = E_n \cdot k_{\text{мод}} \cdot S \cdot k_{\text{інв}} \cdot k_{W1} \cdot k_{W2} \cdot k_{W3} \cdot k_{\text{тр}} \cdot k_{\text{г}}, \text{ кВт} \cdot \text{год} \quad (81)$$

де E_n – надходження сонячної радіації (прямої та розсіяної) на похилу поверхню, кВт/м² за годину;

$k_{\text{мод}}$ – ККД фотоелектричного модуля;

S – загальну сумарну площу фотобатарей, м²;

$k_{\text{інв}}$ – ККД інвертора;

k_{W1} – втрати змінного струму в мережі до 1 кВ;

k_{W3} – втрати в мережі постійного струму;

$k_{\text{г}}$ – коефіцієнт готовності ФЕС.

У разі попереднього оцінювання техніко-економічних показників площадок:

- добуток $k_{\text{інв}} \cdot k_{W1} \cdot k_{W3} \cdot k_{\text{г}}$ - рекомендовано взяти таким, що дорівнює 0,88—0,92, обираємо значення 0,9.

Результати розрахунків наведені на рис. (14-16):

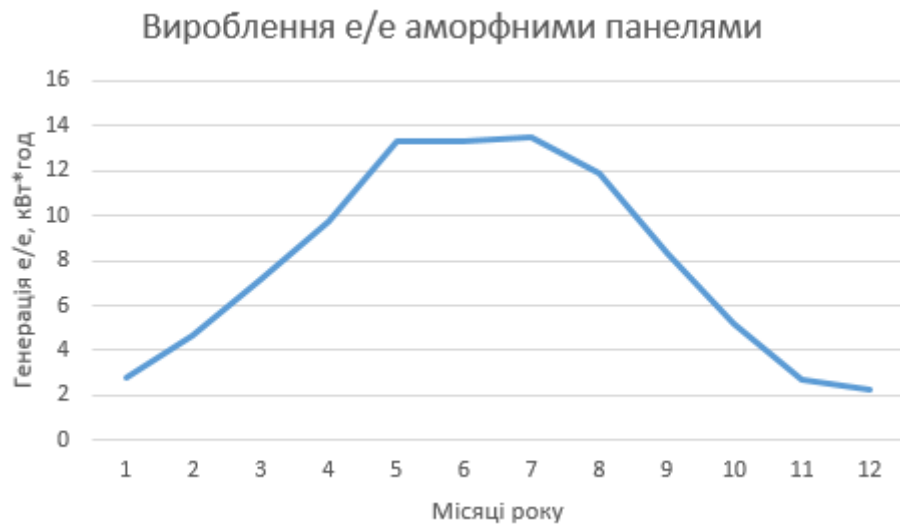


Рисунок 14 - Графік вироблення електроенергії аморфними панелями впродовж року



Рисунок 15 - Вироблення електроенергії монокристалічними панелями впродовж року



Рисунок 16 - Загальне вироблення електроенергії мобільною автономною СЕС

2.18 Охорона праці на об'єкті

2.18.1 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих чинників проектованого технологічного процесу, об'єкту, системи або пристрою

На проектованому в дипломі об'єкті передбачаються роботи з монтажу металоконструкцій, частково на висоті, встановлення на них блоків із сонячними панелями, монтаж електрообладнання для можливості використання генерованої енергії більшістю електроприймачів (інвертор), захисної та комутаційної апаратури, прокладання кабелю. В процесі роботи виникають чинники, які призводять до можливості травматизму електричним струмом, падіння з висоти, травматизму через роботу з перенесенням вручну важких конструкцій та травматизму, пов'язаного з відсутністю дотримання правил охорони праці під час роботи зі зварювальним апаратом.

Передбачається перенесення на монтаж блоків із чотирьох ФЕМ на металевих профілях розмірами 2,5х1,95 м вагою 90 кг та блоків із двома ФЕМ на металевих профілях розмірами 2х2 м вагою 59 кг.

Монтаж металоконструкцій, розподільчого шкафу та інші роботи проводитимуться за допомогою електроінструменту.

Найбільш поширеними серед груп причин електротравматизму є організаційні та технічні. Серед безпосередніх причин попадання людей під напругу слід виділити такі:

- поява напруги на корпусі електроустановки або на електрично зв'язаних з ним металоконструкціях у результаті пошкодження ізоляції;

- поява напруги на ізольованих струмовідних частинах електроустановок у результаті пошкодження ізоляції;
- доступність неізольованих струмовідних частин електроустановок, які знаходяться під напругою, що призводить до випадкового дотику до них; · потрапляння в зон розтікання струму в землі;
- виникнення електричної дуги між струмовідними частинами і тілом людини.

Серед різноманітних схем включення людини в електричне коло слід виділити такі:

- одночасний дотик до двох полюсів мережі постійного струму або до фази та нуля однофазної мережі чи двох фаз трифазної мережі змінного струму;
- дотик до одного з полюсів чи однієї з фаз мережі змінного струму, при якому коло струму замикається через людину та землю;
- дотик до корпусу електроустановки, який у результаті пошкодження ізоляції знаходиться під напругою, за умови, що коло струму замикається через людину та землю;
- одночасний дотик до двох точок на поверхні землі, які в результаті замикань на землю знаходяться під напругою. [12]

З вищевикладеного можна зробити висновок, що чинником травматизму при монтажі та подальшій роботі з проєктованим об'єктом може бути порушення ізоляції або необережне поводження зі струмопровідними частинами.

Заземлення проектованої пересувної автономної сонячної електростанції виконуватиметься за допомогою зварювання, що передбачає низку заходів безпеки під час роботи зі зварювальним апаратом.

Висота, на якій потрібно буде проводити роботи, сягатиме 2,3 м і 2,9 м.

2.18.2 Інженерно-технічні заходи з охорони праці

При розробці заходів з охорони праці враховується доступність електрообладнання для працюючого на будівництві персоналу. В розробленому проекті передбачається наявність розподільчого щитка, доступ до якого має лише інженерно-технічний персонал на майданчику.

Вимоги до працівників під час обслуговування електроустановок: порядок навчання і перевірки знань працівників має бути відповідним до галузевого положення про навчання, інструктаж і перевірку знань працівників з питань охорони праці, узгодженого з Держнаглядохоронпраці, а також до вимог до електротехнічної обслуги, які містяться в ПТЕ.

Під час кожного чергового видавання електроінструменту [...] мають бути перевірені:

- комплектність і надійність кріплення деталей;
- справність деталей корпусу, рукоятки та кришок щіткотримачів, наявність захисних кожухів та їх справність (зовнішнім оглядом);
- надійність роботи вимикача;
- задовільна робота на холостому ході.

Забороняється видавати для роботи електроінструмент, який не відповідає хоча б одній із перелічених вимог або електроінструмент з просроченою датою періодичної чергової перевірки.

Безпосередньо перед початком роботи необхідно перевіряти:

- відповідність напруги і частоти струму електричної мережі до напруги і частоти струму електродвигуна електроінструмента, зазначених в таблиці (паспортних даних);
- надійність закріплення робочого виконувального інструменту (свердел, абразивних кругів, дискових пил, ключів-насадок т.і.).

Під час електрозварювальних робіт зварювальник та його підручні повинні користуватись індивідуальними засобами захисту:

- захисною каскою із струмонепровідних матеріалів. Каску слід зручно сполучувати з щитком, який служить для захисту обличчя та очей. Захисні щитки повинні бути відповідними до вимог ГОСТ 12.4.035;
- захисними окулярами з безкольоровим склом для оберігання очей від осколків та гарячого шлаку під час зачищення зварених швів молотком чи зубилом;
- рукавицями, рукавицями з крагами або рукавичками з негорючих матеріалів з низькою електропровідністю.

При виконанні електрозварювальних робіт, працівники повинні бути проінструктовані про шкідливий вплив на зір та шкіру ультрафіолетових та інфрачервоних променів, що виділяються під час електрозварювання. [13]

Встановлення ввідно-розподільчого пристрою допускається зовні будівлі за умови дотримання вимог ГОСТ 14254 по ступеню захисту електрообладнання. [14]

Вибраний в дипломі до встановлення щиток має ступінь захисту IP54, що, згідно ГОСТ 14254, забезпечує неповний захист від потрапляння пилу, проте пил не повинен потрапляти в кількості, достатній для порушення нормальної роботи обладнання або зниження його безпеки. [15]

Роботи на висоті повинні бути організовані у відповідності до Типової інструкції з охорони праці при роботах із застосуванням переносних драбин та драбинок. [16] Знаходження монтажників безпосередньо на металоконструкціях для ФЕМ заборонено, монтування виконується лише за допомогою лісів та драбин, які пройшли визначені випробування.

Кожна електроустановка в ході монтажу та/або після нього, до пуску в експлуатацію, повинна бути оглянута й випробувана з тим, аби впевнитись наскільки це можливо, що вимоги стандартів комплексу ГОСТ Р 50571 виконані. [17]

При закріпленні столів за допомогою розтяжок, що передбачає занурення в землю металевих паль, та розробки траншей для прокладання кабелю та заземлення, в обов'язковому порядку використовується топографічна зйомка з нанесеним розташуванням всіх підземних комунікацій та мереж, яка робиться для всієї території, виділеної під будівництво того чи іншого об'єкту.

Технічні засоби безпеки за наявності аварійних режимів роботи (наприклад, потрапляння блискавки в установку) включають в себе захисне заземлення електрообладнання та металоконструкцій. Величина опору заземлюючого пристрою в установках напругою 380/220 В не повинна перевищувати 4 Ом. [12]

Розрахунок захисного заземлення металоконструкцій столів, інвертора, та розподільчої шафи

Для заземлення електроустановок можуть бути використані штучні і природні заземлювачі. [6] Для закріплення столів із міркувань протидії силі вітру використовуються розтяжки із забиванням стержнів в землю, проте провести розрахунки для використання їх в якості природних заземлювачів складно, тому застосовуються штучні заземлювачі.

Розрахункові питомі опори ґрунту для горизонтальних і вертикальних заземлювачів визначаються за формулами (82) та (83):

$$\rho_{\text{розр.гориз.}} = \rho_{\text{пит}} \cdot K_{\text{п.гориз}} = 53 \cdot 5,5 = 291,5 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (82)$$

$$\rho_{\text{розр.верт}} = \rho_{\text{уд}} \cdot K_{\text{п.верт}} = 53 \cdot 1,7 = 90,1 \text{ Ом} \cdot \text{м} \quad (83)$$

де $\rho_{\text{пит}}$ - питомий опір ґрунту, приймаємо для чорнозему $\rho_{\text{пит}} = 53 \text{ Ом} \cdot \text{м}$ з табл. 3.3 [17].

$K_{\text{п.гориз}}$, $K_{\text{п.верт}}$ - підвищуючі коефіцієнти сезонності для однорідної землі, для горизонтальних та вертикальних електродів $K_{\text{п.гориз}} = 5,5$, $K_{\text{п.верт}} = 1,7$ з табл. 3.4 [18].

Опір розтіканню одного вертикального електрода стрижневого типу:

$$R_{\text{ОВЕ}} = \frac{\rho_{\text{розр.верт}}}{2\pi \cdot l} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot l}{d} + 0,5 \ln \frac{4t+1}{4t-1} \right) = \frac{90,1}{2 \cdot 3,14 \cdot 5} \cdot \left(\ln \frac{2 \cdot 5}{0,016} + 0,5 \cdot \ln \frac{4 \cdot 3 + 1}{4 \cdot 3 - 1} \right) = 12,105 \text{ Ом} \quad (84)$$

де l - довжина стрижня, м;

d - діаметр стрижня, м;

t - довжина від центру електрода до поверхні, м.

Довжина від центру електрода до поверхні визначається за формулою

$$t = h + \frac{l}{2} = 0,5 + \frac{5}{2} = 3 \text{ м} \quad (85)$$

Визначаємо приблизну кількість вертикальних заземлювачів при попередньо прийнятому коефіцієнті використання, $K_{\text{В}} = 0,65$ з табл. 3.6 [8], наступним чином:

$$n = \frac{R_{\text{ОВЕ}}}{K_{\text{В}} \cdot R_{\text{ПУЕ}}} = \frac{12,105}{0,69 \cdot 4} = 4,656 \quad (86)$$

Приймаємо 6 шт.

Розраховуємо опір розтікання горизонтальних електродів зі смужової сталі 40x5 мм, приварених до верхніх кінців вертикальних електродів:

$$R_{\text{ОГЕ}} = \frac{\rho_{\text{расч.г}}}{2\pi \cdot l} \cdot \ln \frac{2 \cdot l^2}{b \cdot t} = \frac{291,5}{2 \cdot 3,14 \cdot 30} \cdot \ln \frac{2 \cdot 30^2}{0,04 \cdot 0,7} = 17,13 \text{ Ом} \quad (87)$$

де l - довжина смуги, м;

b - ширина смуги, м;

t - довжина від полоси до поверхні, м.

Уточнюємо опір вертикальних електродів:

$$R_{BE} = \frac{R_{OGE} \cdot R_{ПУЕ}}{R_{OGE} - R_{ПУЕ}} = \frac{17,13 \cdot 4}{17,13 - 4} = 5,219 \text{ Ом} \quad (88)$$

Уточняється число вертикальних електродів при $K_B = 0,73$ з табл.3.6 [8]:

$$n = \frac{R_{OBE}}{K_B \cdot R_{ПУЕ}} = \frac{12,105}{0,73 \cdot 4} = 4,146 \quad (89)$$

Остаточно приймаємо 4 електроди.

Опір заземлюючих пристроїв:

$$R_{ЗП} = \frac{R_{BE} \cdot R_{OGE}}{R_{BE} + R_{OGE}} < R_{ПУЕ} \quad (90)$$

$$R_{ЗП} = \frac{5,219 \cdot 17,13}{5,219 + 17,13} = 4 \text{ Ом} = R_{ПУЕ} \quad (91)$$

Розрахована система заземлюючих пристроїв повністю задовольняє вимогам ПУЕ.

2.18.3 Пожежна профілактика

На будівельному майданчику з урахуванням його пожежної небезпеки наказом (інструкцією) повинен бути встановлений відповідний протипожежний режим, у тому числі визначені:

- можливість паління (місце для куріння), застосування відкритого вогню, побутових нагрівальних приладів;
- порядок проведення тимчасових пожежонебезпечних робіт (у тому числі зварювальних);
- правила проїзду та стоянки транспортних засобів;

- порядок проходження посадовими особами навчання й перевірки знань з питань пожежної безпеки, а також проведення з працівниками протипожежних інструктажів та занять з пожежно-технічного мінімуму з призначенням відповідальних за їх проведення;
- порядок організації експлуатації і обслуговування наявних технічних засобів протипожежного захисту (вогнегасників);
- порядок проведення планово-попереджувальних ремонтів та оглядів електроустановок;
- дії працівників у разі виявлення пожежі.

Для опалення невеликих приміщень, у тому числі підприємств торгівлі (кіоски, ларки), пересувних побутових приміщень для будівельників, будинків-вагончиків тощо можуть застосовуватися масляні радіатори та нагрівальні електропанелі типу РБЭ-1, ЕК-2, ЕК-4, ПТ-8-2 тощо із закритими нагрівальними елементами. Такі радіатори та електропанелі повинні мати справний індивідуальний електрозахист і терморегулятор.

Інвентарні будівлі мобільного типу (будинки-вагончики), які використовуються для проживання людей, слід розміщувати окремо один від одного або парами в торець один до одного. В останньому випадку виходи з них мають бути спрямовані у протилежні боки.

До початку експлуатації об'єкт повинен бути забезпечений первинними засобами пожежогасіння згідно з Типовими нормами належності вогнегасників.

Для розміщення первинних засобів пожежогасіння у виробничих, складських, допоміжних приміщеннях, будинках, спорудах, а також на території підприємств повинні встановлюватися спеціальні пожежні щити (стенди).

Пожежні щити (стенди) повинні встановлюватись на території об'єкта площею більше 200 м^2 з розрахунку один щит (стенд) на 5000 м^2 захищеної площі. До комплекту засобів пожежогасіння, які розміщуються на пожежному щиті, входять: вогнегасники - 3 шт., ящик з піском - 1 шт., протипожежне покривало - 1 шт., багор або лом та гак - 2 шт., лопати - 2 шт., сокири - 2 шт.

Проведення вогневих робіт на постійних та тимчасових місцях дозволяється лише після вжиття заходів, які виключають можливість виникнення пожежі: очищення робочого місця від горючих матеріалів, захисту горючих конструкцій, забезпечення первинними засобами пожежогасіння (вогнегасником, ящиком з піском та лопатою). Вид та кількість первинних засобів пожежогасіння, якими повинно бути забезпечене місце робіт, визначаються з урахуванням вимог щодо оснащення об'єктів первинними засобами пожежогасіння. [19]

2.19 Техніко-економічне обґрунтування

2.19.1 Вступ

Така діяльність, як будівництво, ведеться кожен день в тому чи іншому місці, того чи іншого проекту. І жодний об'єкт неможливо реалізувати без певного набору інструментів та інженерно-технічного персоналу на місці. Щоб забезпечити їх наявність та працездатність, будівництво не може обійтись без електропостачання. Якщо воно ведеться в межах міста, то живлення майданчика забезпечується за допомогою приєднання до існуючої найближчої підстанції. Якщо він знаходиться у віддаленій місцевості, то в якості джерела живлення застосовують генератори, дизельні або бензинові. Як показує практика, вони достатньо часто виходять з ладу, що потребує їх ремонту за участі сторонніх компаній або закупівлі нових одиниць, якщо ремонту вони не підлягають. Тут має місце людський фактор, адже

дизельні/бензинові генератори не допускається навантажувати на 100%, ця умова дуже часто не виконується, що й призводить до вищенаведених наслідків. Незалежно від причин, ремонт/купівля потребують грошових витрат. Сама по собі експлуатація дизельних/бензинових генераторів передбачає закупівлю значного об'єму палива. В сумі проект будівництва витрачає відносно багато коштів на електропостачання будівельного містечка. Це спонукає компанії шукати альтернативи, які б зекономили їхні гроші та час.

Для розв'язання цієї проблеми достатньо буде згадати, що науково-технічний прогрес дозволив людям використовувати для генерації електроенергії абсолютно безкоштовне «паливо» - сонячне світло. Мова йде про сонячні панелі. Саме за допомогою них можливо забезпечувати електроенергією будівельне містечко, при цьому одноразово вклавши інвестиції, та звести ремонтні роботи до мінімуму завдяки простоті та багатофункціональності застосованих пристроїв, через що автономна сонячна електростанція вимагає мінімального втручання в свою роботу за належного монтажу та налаштування.

В рамках обґрунтування економічної доцільності запропонованого в дипломному проекті технічного рішення необхідно вирахувати величину інвестицій для створення автономної сонячної станції, її монтажу кожен раз при переміщенні на новий об'єкт, власне, витрати на переміщення та оцінити період окупності відносно витратам, яких потребує експлуатація дизельних/бензинових генераторів в якості децентралізованого джерела електроенергії.

2.19.2 Розрахунок витрат в проекті пересувної автономної СЕС

Розрахунок капітальних інвестицій

Проектні капітальні інвестиції в устаткування і будівельно-монтажні роботи визначаються на основі цін, наведених у прайс-листах оптових цін на електроустаткування, та інших довідкових матеріалів.

Капітальні інвестиції розраховемо за наступною формулою (92):

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{об}} + Z_{\text{зтс}} + Z_{\text{м}} + Z_{\text{н}} \quad (92)$$

де $K_{\text{об}}$ - вартість придбання електрообладнання за проектом;

$Z_{\text{тз}}$ – транспортно-заготівельні;

$Z_{\text{м}}$ – витрати на монтажні роботи;

$Z_{\text{н}}$ - витрати на налагоджувальні роботи;

Доцільно витрати на придбання технічних засобів або комплектуючих виробів представити у вигляді зведення капітальних інвестицій (табл. 6).

Таблиця 6 Зведення капітальних інвестицій на придбання технічних засобів або комплектуючих виробів

| № п/п | Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів) | Кількість | Ціна за одиницю, грн | Сума, грн |
|-------|---|-----------|----------------------|-----------|
| 1 | Монокристалічна панель JA Solar JAM72D10/MB 410W framed (Bifacial Mono PERC Half-cell Double Glass MBV) | 24 шт | 3584*[1] | 86 016 |

Продовження таблиці 6

| | | | | |
|---|--|-------|-----------|---------|
| 2 | Аморфна панель Solar Frontier SF170-S | 32 шт | 3172**[2] | 101 518 |
| 3 | Гібридний інвертор Axioma ISGRID 5000, 5000Вт/48В | 3 шт | 38 532 | 115 596 |
| 4 | Статична наземна система на 12 модулів, оцинкована сталь | 2 шт | 18 857 | 37 714 |

| | | | | |
|----|--|-------|-----------|--------|
| 5 | Статична наземна система на 16 модулів, оцинкована сталь | 2 шт | 22 941 | 45 882 |
| 6 | Сонячний кабель PV 1x6 | 20 м | 26 грн/м | 527 |
| 8 | AGM LogicPower LPM-MG 12 - 100 АН | 15 шт | 4849 | 72 735 |
| 9 | Силовий кабель АВББШв 3x4 мм ² | 30 м | 27 грн /м | 837 |
| 10 | Schneider Electric Easy9 1P 32A C | 2 шт | 92 | 184 |
| 11 | ІЕК ВА47-29М 1P 32А 4,5кА хар-ка. «D» | 1 шт | 58 | 116 |
| 12 | АсКо УкрЕМ ПЗВ-2001 2р/40А/30мА, 1 шт | 3 шт | 298 | 894 |
| 13 | ABB OT80F3C | 1 шт | 2947 | 2947 |
| 14 | ІЕК ВА47-29 1P 25А 4,5кА хар-ка. «B» | 6 шт | 52 | 104 |

Кінець таблиці 6

| | | | | |
|----|--------------------------------------|------|----|-----|
| 15 | ІЕК ВА47-29 1P 25А 4,5кА хар-ка. «D» | 3 шт | 58 | 174 |
|----|--------------------------------------|------|----|-----|

| | | | | |
|--------|---|------|-----|---------|
| 16 | Щит монтажний навісний БМ-20+П IP54 | 1 шт | 643 | 643 |
| Всього | | | | 471 704 |

* По курсу на 13.06.2020 26,55 грн за 1 доллар

** По курсу на 13.06.2020 32 грн за 1 фунт

*** Опціонально, так як можливо використовувати наявний на об'єкті генератор (-и).

Вартість придбання електрообладнання за проектом визначаємо за формулою (93):

$$\begin{aligned}
 K_{об} = \sum_{i=1}^T C_{об,i} = & 42\,930 + 37\,714 + 45\,882 + 527 + 77\,360 + \\
 & + 18\,396 + 183 + 186 + 334 + 457 + 64 + 2130 + 643 + \\
 & + 1147 = 416\,074 \text{ грн}
 \end{aligned}
 \tag{93}$$

де $C_{об}$ – ціна на обладнання.

Постачальники обладнання задля посилання на ціну вказані в табл.7.

Таблиця 7 Посилання на ціни

| Найменування | Постачальник |
|--------------|--------------|
|--------------|--------------|

| | |
|---|---|
| Монокристалічна панель JA Solar JAM72D10/MB 410W framed (Bifacial Mono PERC Half-cell Double Glass MBV) | Компанія «Авангард Солар» г. Вышгород, ул. Шолуденка 19 г. Житомир, ул. Довженко 7, <u>+38 (096) 811-02-61, +38 (095) 548-20-95</u> |
| Аморфна панель Solar Frontier SF170-S | Компанія RENUGEN LIMITED, 7 Merlin House, Gatehouse Close, Aylesbury, HP19 8DP |
| Гібридний інвертор Ахіома ISGRID 5000, 5000Вт/48В | Інтернет-магазин «Sayan», Україна, Київ, +380986947746 |
| Статична наземна система на 12 модулів, оцинкована сталь | Інтернет-магазин «Solar-Tech», Київ вул. Стеценко 14/44, +38 098 180-99-00 |
| Статична наземна система на 16 модулів, оцинкована сталь | |
| Сонячний кабель PV 1x6 | Інтернет-магазин «Volta», Дніпро, вул. Шинна, 26; пр-т Праці, 9, +380503203111 |
| AGM LogicPower LPM-MG 12 - 100 АН | Інтернет-магазин «Юг-Опт», Україна, Одеса, +380938922226 |
| Силовий кабель АВББШв 3x4 мм ² | Інтернет-магазин «Легор», оф. 8, пр. Науки 50А, Харків, Україна, +38 057 717-07-44 |
| Schneider Electric Easy9 1P 32A C | Інтернет-магазин «001.com.ua», Київ, вул. Куреневська, 18, 0 (800) 33-001-3 |

| | |
|--|--|
| ІЕК ВА47-29М 1Р 32А 4,5кА хар-ка. «D» | Інтернет-магазин «001.com.ua», Київ, вул. Куреневська, 18, 0 (800) 33-001-3 |
| ІЕК ВА47-29 1Р 25А 4,5кА хар-ка. «B» | |
| АсКо УкрЕМ ПЗВ-2001 2р/40А/30мА | |
| ІЕК ВА47-29 1Р 25А 4,5кА хар-ка. «D» | |
| Щит монтажний навісний БМ-20+П IP54 | Компанія «Електро Трейд», Київ, вул. А. Волошина, 2А, (044) 228-33- 17 |
| Перемикач навантаження АВВ OT80F3C | Інтернет-магазин «Люкс Електро», Київ, вул. Вікентія Хвойки, д. №10, +38 (044) 337-21-02 |

Витрати на монтажні (З_м) та на налагоджувальні роботи (З_н) розраховуються, виходячи з прайс-листа на монтажні та налагоджувальні роботи компанії «ЕДС-Інжиніринг». Результат занесено до табл. 8:

Таблиця 8 Вартість монтажних та налагоджувальних робіт

| Найменування робіт | Кількість | Вартість за одиницю, грн | Сума, грн |
|--|-----------|-----------------------------|-----------|
| Збірка металоконструкцій під блоки ФЕМ | 16 шт | 100 | 1600 |

Кінець таблиці 8

| | | | |
|--|-------|-----|------|
| Монтаж панелей на блоки | 56 шт | 18 | 1008 |
| Збірка столів з блоків з ФЕМ | 4 шт | 500 | 2000 |
| Монтаж інвертора 1- фазного | 3 шт | 70 | 210 |
| Прокладка сонячного кабелю | 20 м | 2 | 40 |
| Прокладка силового кабелю АВБбШв 3х4 | 30 м | 2 | 60 |
| Монтаж розподільчого щита | 1 шт | 300 | 300 |
| Налагоджування інвертора | 3 шт | 100 | 300 |
| Всього | | | 5518 |

Витрати на монтажні та налагоджувальні роботи визначаємо за формулою (94):

$$З_{м,н} = \sum_{i=1}^n \Pi_i = 1600 + 1008 + 2000 + 210 + 40 + 60 + 300 + 300 = 5518 \text{ грн} \quad (94)$$

де Π_i – ціна за роботу за прайсом.

Розрахуємо вартість транспортно-заготівельних робіт за способом та вартістю доставки за прайсом компанії перевізника з урахуваннями габаритів та міста відправки. Зведемо дані по вартості доставки у таблицю 9.

Таблиця 9 Вартість доставки електрообладнання та комплектуючих

| Найменування | Місто відправки | Компанія-перевізник | Вартість доставки, грн |
|---|-------------------|-------------------------------------|------------------------|
| Монокристалічна панель JA Solar JAM72D10/MB 410W framed (Bifacial Mono PERC Half-cell Double Glass MBB) | Житомир | ТОВ «Деливери» | 2624 |
| Аморфна панель JA Solar JAM72D10/MB 410W framed (Bifacial Mono PERC Half-cell | Ейлсбері (Англія) | Компанія-перевізник Ukraine Express | 57 954.48* |

| | | | |
|----------------------|--|--|--|
| Double Glass MBB) | | | |
|----------------------|--|--|--|

Продовження Таблиці 9

| | | | |
|--|--------|---|--|
| Гібридний інвертор Ахіота ISGRID 5000, 5000Вт/48В | Київ | ТОВ «Нова Пошта» | 401 |
| Статична наземна система на 12 модулів, оцинкована сталь | | Компанія з пошуку приватних грузоперевізників “DELLA” | 18 000 (при винайманні автомобілю з вантажопідйомністю 20 т. на маршрут Київ-Дніпро) |
| Статична наземна система на 16 модулів, оцинкована сталь | | | |
| Сонячний кабель PV 1х6 | Дніпро | Самовивіз | 0 |
| AGM LogicPower LPM-MG 12 - 100 АН | Одеса | ТОВ «Нова пошта» | 962 грн |

| | | | |
|---|--------|---------------------|----|
| Силовий кабель АВБбШв 3х4 мм ² | Харків | ТОВ «Нова Пошта» | 50 |
|---|--------|---------------------|----|

Продовження Таблиці 9

| | | | |
|--|------|---|---|
| Schneider Electric Easy9 1P 32A C | Київ | Доставка безкоштовна при покупці на суму від 500 грн | 0 |
| ІЕК ВА47-29М 1P 32A 4,5кА хар-ка. «D» | Київ | Доставка безкоштовна при покупці на суму від 500 грн | 0 |
| ІЕК ВА47-29 1P 25A 4,5кА хар-ка. «B» | | | |
| ІЕК ВА47-29 1P 25A 4,5кА хар-ка. «D» | | | |
| Пристрій захисного вимкнення АсКо УкрЕМ ПЗВ- 2001 2р/40А/30мА | | | |

| | | | |
|--|------|----------------|----|
| Щит монтажний навісний БМ- 20+П IP54 | Київ | ТОВ «Деливери» | 40 |
|--|------|----------------|----|

Кінець таблиці 9

| | | | |
|--|--|---------------------|--------|
| Перемикач навантаження ABB OT80F3C | | ТОВ «Нова Пошта» | 50 |
| Всього | | | 80 082 |

* Вартість закупівлі та доставки обладнання з Великобританії в сумі виявляється менше, ніж закупівля в Україні такого ж обладнання навіть трохи меншої потужності.

Вартість транспортно-заготівельних робіт визначаємо за формулою (95):

$$З_{\text{тз}} = \sum_{i=1}^n D_i = 2624 + 57\,954,48 + 401 + 18\,000 + 962 + 50 + 40 + 40 = 80\,081,48 \text{ грн} \quad (95)$$

де D_i - вартість доставки.

Отже, сумарні капітальні інвестиції за формулою (96):

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{об}} + З_{\text{зтс}} + З_{\text{м,н}} = 471\,704.4 + 80\,081,48 + 5518 = 557\,303 \text{ грн} \quad (96)$$

2.19.2 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати – це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проєктування за визначений період, що виражені у грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат по електротехнічному устаткуванню та енергомережам відносяться:

- амортизаційні відрахування (Ca).
- заробітна плата обслуговуючого персоналу (Cз).
- єдиний соціальний внесок (Cс).
- витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж (Cт).
- вартість електроенергії, що буде спожита об'єктом проєктування або витрат електроенергії (Cе).
- інші витрати (Cін).

Для запроєктованого в дипломі проекту матимуть місце лише амортизаційні відрахування, отже, річні експлуатаційні витрати по об'єкту проєктування складуть:

$$C = C_a \quad (96)$$

Розрахунок амортизаційних відрахувань

Амортизація об'єкта основних засобів нараховується виходячи з терміну його корисного використання.

Податковим кодексом України дозволено використовувати прямолінійний (пропорційний) метод амортизації, при якому річна сума амортизації визначається діленням вартості, яка амортизується, на строк корисного використання об'єкта основних засобів. Вартістю основних засобів і нематеріальних активів, що амортизується, є первісна або переоцінена вартість основних засобів і нематеріальних активів за вирахуванням їх ліквідаційної вартості, визначається за формулою (97):

$$\Phi_a = \Phi_{\text{п}} - Л, \quad (97)$$

де $\Phi_{\text{п}}$ – первісна (або переоцінена) вартість об'єкта основних засобів; $Л$ – розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів.

Очікувану ліквідаційну вартість об'єкта основних засобів визначити складно, тому, враховуючи, що це дозволено, при прямолінійному методі амортизації вважаємо її рівною нулю ($Л = 0$). Отже, за (98):

$$\Phi_a = \Phi_n \quad (98)$$

Норма амортизації при прямолінійному методі постійна протягом усього амортизаційного періоду і дорівнює за (99):

$$H_a = \frac{\Phi_n}{\Phi_n \cdot T_n} \cdot 100\% \quad (99)$$

де T_n – термін корисного використання (амортизаційний період).

– Сонячні панелі

Для аморфних панелей приймаємо амортизаційний період 15 років, для монокристалічних – 20 років [20]:

$$H_a = \frac{\Phi_n}{\Phi_n \cdot T_n} \cdot 100\% = \frac{86\,016}{86\,016 \cdot 15} \cdot 100\% = 7\% \quad (100)$$

$$H_a = \frac{\Phi_n}{\Phi_n \cdot T_n} \cdot 100\% = \frac{101\,518.4}{101\,518.4 \cdot 20} \cdot 100\% = 4\% \quad (101)$$

– Гібридні інвертори

Інвертор має в своїй основі напівпровідники, а тому характеризується довгим амортизаційним періодом близько 15 років:

$$H_a = \frac{\Phi_n}{\Phi_n \cdot T_n} \cdot 100\% = \frac{42\,930}{42\,930 \cdot 15} \cdot 100\% = 7\% \quad (102)$$

– Кабельні лінії

$$H_a = \frac{\Phi_n}{\Phi_n \cdot T_n} \cdot 100\% = \frac{527+183.6}{(527+183.6) \cdot 10} \cdot 100\% = 10\% \quad (103)$$

– Комутаційне обладнання

$$H_a = \frac{\Phi_n}{\Phi_n \cdot T_n} \cdot 100\% = \frac{186+334+457.44+648.18+2130+1147.74}{(186+334+457.44+648.18+2130+1147.74) \cdot 10} \cdot 100\% = 10\% \quad (104)$$

– Системи кріплення

Системи кріплення сонячних панелей відносяться до групи 3 (споруди та конструкції) [3] та мають амортизаційний період – 10 років:

$$H_a = \frac{\Phi_{\Pi}}{\Phi_{\Pi} \cdot T_{\Pi}} \cdot 100\% = \frac{37\,714 + 45\,882}{(37\,714 + 45\,882) \cdot 10} \cdot 100\% = 10\% \quad (105)$$

– Генератор

Генератор відноситься до «машини-генератори, які виробляють [...] електричну енергію» згідно [21] та мають срок корисного використання 10 років:

$$H_a = \frac{\Phi_{\Pi}}{\Phi_{\Pi} \cdot T_{\Pi}} \cdot 100\% = \frac{77\,360}{77\,360 \cdot 10} \cdot 100\% = 10\% \quad (106)$$

– Акумуляторні батареї

Згідно характеристик, обраний АКБ має амортизаційний період 8 років:

$$H_a = \frac{\Phi_{\Pi}}{\Phi_{\Pi} \cdot T_{\Pi}} \cdot 100\% = \frac{18\,396}{18\,396 \cdot 8} \cdot 100\% = 13\% \quad (107)$$

Таблиця 10 Розрахунок амортизаційних нарахувань

| № п/п | Найменування | | Капітальні інвестиції, тис. грн | Норма амортизації, % | Сума амортизації, грн |
|----------|------------------------|------------|---------------------------------------|----------------------------|-----------------------------|
| 1 | Сонячні панелі | аморфні | 101 518.4 | 4 | 3380.57 |
| | | монокрист. | 86 016 | 5 | 4300.80 |
| 2 | Гібридні інвертори | | 42 930 | 7 | 2859.14 |
| 3 | Кабельні лінії | | 710.6 | 10 | 71.06 |
| 4 | Комутаційне обладнання | | 4903.36 | 10 | 490.34 |
| 5 | Системи кріплення | | 83 596 | 10 | 8359.6 |
| 6 | Генератор | | 77 360 | 10 | 7736 |
| 7 | Акумуляторні батареї | | 18 396 | 13 | 2299.5 |

| | |
|--------|-----------|
| Всього | 27 427,01 |
|--------|-----------|

2.19.3 Розрахунок витрат на актуальний спосіб електропостачання будівельного містечка

Запроектована в дипломі сонячна станція є альтернативою розповсюдженому використанню дизельним/бензинових генераторів для електропостачання будівельного містечка. Підрахуємо витрати за їх використання.

Відповідно до потужності проекрованої станції, має працювати три генератори по 5 кВт. Враховуючи, що для підтримання генераторів у робочому стані, не рекомендується їх перенавантажувати більш, ніж на 75%. Робочі години будівельного майданчика, в основному, з 7:00 до 17:00. Приймемо, що 10 годин генератори працюють в навантаженні $0,75P_{\text{ном}}$, а ще 14 (через цілодобову наявність охорони на об'єкті) – $0,25P_{\text{ном}}$. Для дизельного генератора КЕНТАВР КДГ 505 ЕК витрати палива становлять 1,6 л/год (для

100% навантаження). Згідно прийнятих вище даних, можемо скласти наступну табл. 11:

Таблиця 11 Витрати на паливо для роботи трьох дизельних генераторів

| Навантаження, % | Час, год | Витрати палива, л/год | Вартість палива, грн/л | Витрати за день, грн | Витрати за місяць, грн | Витрати за рік, грн |
|--------------------|----------|-----------------------------|------------------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| 75 % | 10 | 1,2 | 21,36* | 1127.81 | 33 834.3 | 406 011.6 |
| 25 % | 14 | 0,4 | | | | |

* Ціна за літр дизельного палива на 12.06.2020 [22]

З огляду на те, що важко оцінити з достатньою для розрахунків точністю кількість необхідних ремонтів та заміни зламаних генераторів новими, знехтуємо витратами на ремонт та закупівлю нових генераторів.

Враховуючи отримані витрати на паливо за рік при прийнятих режимах роботи та виді генератора, розраховуємо термін, за який запроектована сонячна станція окупить, за наступною формулою (108):

$$O = \frac{557\,303}{406\,011} \approx 1,37 \text{ роки або за 1 рік та 4 місяці} \quad (108)$$

2.19.4 Висновки за розділом

Капітальні витрати складають 501 673 грн, а експлуатаційні - 27 427 грн.

Були підраховані витрати на використання для електропостачання будівельного містечка лише дизельних генераторів, загальною потужністю рівною потужністю проектованої сонячної електростанції, а саме – витрати на паливо без врахування ремонтних робіт та закупок нових найменувань у разі неможливості відновлення роботи механізму ремонтними роботами. У порівнянні з цими витратами, капітальні витрати на пересувну автономну СЕС мають себе окупити через 1 рік і 4 місяці.

Варто врахувати, що оптимізацію проекту можна провести, якщо замінити аморфні панелі на моно- або полікристалічні, які є більш розповсюджені (що здешевшує доставку), більшої потужності (зменшує необхідну їх кількість для набору потужності інвертора) та дешевші. В дипломі були використані саме тонкоплівочні аморфні панелі задля того, аби забезпечити більшу генерацію електроенергії взимку, так як у хмарну погоду за наявності розсіяного світла аморфні панелі генерують на 20% більше, ніж їх альтернативи. Запропонований проект являє собою базовий набір для збірки пересувної автономної СЕС, який може здешевлюватись за рахунок заміни певних складових на більш дешевші або за рахунок використання наявних складових у компанії.

Загальні висновки з проекту

В даному дипломному проекті було розглянуте проектне рішення щодо використання дизельних генераторів на будівництві задля забезпечення електроенергією будівельного містечка. В якості альтернативи була запропонована пересувна автономна сонячна електростанція з резервним живленням у виді генератора на випадок, якщо погодні умови не передбачають генерацію (якщо напруга на інверторі менше мінімальної стартової, електроенергія не вироблятиметься) та не вистачає заряду акумуляторних батарей. Зроблено це для того, аби живлення містечка було

постійним задля уникнення призупинення роботи через порушення в електропостачанні.

Розроблені заходи з охорони праці дозволять знизити травматизм і нещасні випадки при експлуатації електротехнічного обладнання. Також розглянуті питання пожежної безпеки.

В економічній частині проекту виконаний розрахунок економічного ефекту від впровадження даної установки. Застосування розробленого технічного рішення вимагає відносно знанчих початкових інвестицій, проте є шляхи до оптимізації задля їх зменшення та, маючи при цьому розрахунковий термін окупності проекту 1 рік та 4 місяці, розроблений проект дозволить економити витрати на електропостачання будівельного містечка, тобто розроблений проект можна попередньо визначити доцільним для впровадження на будівельних майданчиках.

Перелік посилань

1. «Встановлена потужність енергосистеми України – березень 2020» НЕК «УКРЕНЕРГО» Спосіб доступу: URL: <https://ua.energy/vstanovlenapotuzhnist-energosityemy-ukrayiny/>
2. «Звіт з оцінки відповідності (достатності) генеруючих потужностей – 2019» НЕК «УКРЕНЕРГО» Спосіб доступу: URL: http://www.nerc.gov.ua/data/filearch/Materialy_zasidan/2020/berezen/13.03.2020/p12_13-03-20.pdf

3. Звіт з порівняння стану використання ВДЕ на перший квартал 2019 з першим кварталом 2020 р. від Міжнародної енергетичної спільноти. Спосіб доступу: URL: <https://www.iea.org/reports/global-energy-review-2020/renewables>
4. ДБН А.3.1-5-96 Організація будівельного виробництва Спосіб доступу: URL: <https://dbn.co.ua/load/normativy/dbn/1-1-0-294>
5. Постанову КМУ від 13 квітня 2011 р. № 466 «Деякі питання виконання підготовчих і будвельних робіт» Спосіб доступу: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/466-2011-п>
6. ПУЕ, 7 видання Спосіб доступу: URL: <https://www.elec.ru/library/direction/pue.html>
7. Clobal Solar Atlas Спосіб доступу: URL: <https://globalsolaratlas.info/map?c=50.63901,23.15918,5>
8. Стаття компанії SolarTech «Как устроена гибридная солнечная станция» Спосіб доступу: URL: <https://solar-tech.com.ua/kak-ustroena-gibridnayasolnechnaya-stanciya-2018-11-26.html>
9. Текст наукової статті «Специфика электроснабжения индивидуальных потребителей на базе автономных ВЭС» Чиндяксин В.И., Митрофанов А.А. Спосіб доступу: URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/spetsifikaelektrosnabzheniya-individualnyh-potrebiteley-na-baze-avtonomnyhves/viewer>
10. СОУ-Н МЕВ 40.1-37471933-49:2011 Проектування кабельних ліній напругою до 330 кВ. Спосіб доступу: URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=72188
11. ГОСТ 13109-97 Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Спосіб доступу: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200006034>

12. Голінько В.І. Основи охорони праці. - Д.: Національний гірничий університет, 2008.– 265 с.
13. НПАОП 40.1-1.21-98 Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Спосіб доступу: URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0093-98#Text>
14. ГОСТ 23274-84 Здания мобильные (инвентарные). Электроустановки. Общие технические условия (с Изменением N 1). Спосіб доступу: URL: <http://docs.cntd.ru/document/901707154>
15. ГОСТ 14254-2015 (IEC 60529:2013) Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP) (с Поправкой). Спосіб доступу: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200136066>
16. Інструкція з охорони праці при роботах із застосуванням переносних драбин та драбинок. Спосіб доступу: URL: <https://dnaop.com/html/1490/doc-instrukcija-z-ohoroni-praci-pri-robotah-iz-zastosuvannyam-perenosnih-drabin-ta-drabinok>
17. ГОСТ Р 50571.16-2007. Электроустановки низковольтные. Часть 6. Испытания. Спосіб доступу: URL: <http://docs.cntd.ru/document/gost-r-50571-16-2007>
18. Методичні вказівки з виконання розрахункової частини розділу „охорона праці” в дипломних проектах студентів інституту електроенергетики. Частина 1 /Уклад. В.І. Голінько, В.Ю. Фрундін, Я.Я. Лебедєв, В.Є. Колесник – Дніпропетровськ: Національний гірничий університет. – 2004. – 34 с.
19. НАПБ А.01.001-2004. Правила пожежної безпеки в Україні. Спосіб доступу: URL: https://dnaop.com/html/31612/doc-%D0%9D%D0%90%D0%9F%D0%91_%D0%90.01.001-2004
20. Стаття компанії EcoTech на тему «Срок службы и производительность солнечных панелей». Спосіб доступу: URL: <https://eco-tech.com.ua/a286780-srok-sluzhby-proizvoditelnost.html>

21. Додаток 1 до Метрекомеандацій з облікової політики политике. Спосіб доступу: URL: <https://i.factor.ua/journals/bb/2018/december/issue-47/article-41393.html>
22. Ціна на дизельне паливо в Україні. Спосіб доступу: URL: <https://index.minfin.com.ua/markets/fuel/dt/>

ДОДАТОК А

| | | Позначення | Найменування | Кількість | Примітка |
|----|----|-----------------|----------------------|-----------|----------|
| 1 | | | | | |
| 2 | | | Документація | | |
| 3 | | | | | |
| 4 | A4 | СЕР.ПД.20.08.ПЗ | Пояснювальна записка | 90 | |
| 5 | | | | | |
| 6 | | | Графічні матеріали | | |
| 7 | | | | | |
| 8 | A1 | | | 1 | |
| 9 | A1 | | | 1 | |
| 10 | | | | | |
| 11 | | | | | |
| 12 | | | | | |

Довідкові дані для статистичного-модифікованого методу розрахунку

Таблиця 1. Значення коефіцієнтів K_p для кабелів і проводів U до 1000 В

| N_e | Груповий коефіцієнт використання K_g (T=10 хв) | | | | | | | | |
|-------|--|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| | 0.1 | 0.15 | 0.2 | 0.3 | 0.4 | 0.5 | 0.6 | 0.7 | 0.8 |
| 1 | 8.00 | 5.33 | 4.00 | 2.67 | 2.00 | 1.60 | 1.33 | 1.14 | 1.0 |
| 2 | 6.22 | 4.33 | 3.39 | 2.45 | 1.98 | 1.60 | 1.33 | 1.14 | 1.0 |
| 3 | 4.05 | 2.89 | 2.31 | 1.74 | 1.45 | 1.34 | 1.22 | 1.14 | 1.0 |
| 4 | 3.24 | 2.35 | 1.91 | 1.47 | 1.25 | 1.21 | 1.12 | 1.06 | 1.0 |
| 5 | 2.84 | 2.09 | 1.72 | 1.35 | 1.16 | 1.16 | 1.08 | 1.03 | 1.0 |
| 6 | 2.64 | 1.96 | 1.62 | 1.28 | 1.14 | 1.13 | 1.06 | 1.01 | 1.0 |
| 7 | 2.49 | 1.86 | 1.54 | 1.23 | 1.12 | 1.10 | 1.04 | 1.0 | 1.0 |
| 8 | 2.37 | 1.78 | 1.48 | 1.19 | 1.10 | 1.08 | 1.02 | 1.0 | 1.0 |
| 9 | 2.27 | 1.71 | 1.43 | 1.16 | 1.09 | 1.07 | 1.01 | 1.0 | 1.0 |
| 10 | 2.18 | 1.65 | 1.39 | 1.13 | 1.07 | 1.05 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 11 | 2.11 | 1.61 | 1.35 | 1.1 | 1.06 | 1.04 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 12 | 2.04 | 1.56 | 1.32 | 1.08 | 1.05 | 1.03 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 13 | 1.99 | 1.52 | 1.29 | 1.06 | 1.04 | 1.01 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 14 | 1.94 | 1.49 | 1.27 | 1.05 | 1.02 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 15 | 1.89 | 1.46 | 1.25 | 1.03 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 16 | 1.85 | 1.43 | 1.23 | 1.02 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 17 | 1.81 | 1.41 | 1.21 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 18 | 1.78 | 1.39 | 1.19 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 19 | 1.75 | 1.36 | 1.17 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 20 | 1.72 | 1.35 | 1.16 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 21 | 1.69 | 1.33 | 1.15 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 22 | 1.67 | 1.31 | 1.13 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 23 | 1.64 | 1.30 | 1.12 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 24 | 1.62 | 1.28 | 1.11 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 25 | 1.6 | 1.27 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 30 | 1.51 | 1.21 | 1.05 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 35 | 1.44 | 1.16 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |

Кінець таблиці 1

| | | | | | | | | | |
|-----|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 40 | 1.4 | 1.13 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 45 | 1.35 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 50 | 1.3 | 1.07 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 60 | 1.25 | 1.03 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 70 | 1.2 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 80 | 1.16 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 90 | 1.13 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |
| 100 | 1.1 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 |